



Mémoire de Master 2

Entraînement et optimisation de la performance sportive

Parcours « Sport et Expertise de la performance de haut
niveau »

Accompagnement Scientifique de la Performance

Gestion Temporelle des Entre-Points en Badminton de Haut

Niveau : une Étude Exploratoire

MIDA Sébastien

Superviseur : CALMELS Claire (PhD, HDR)

Laboratoire Sport, Expertise et Performance

(SEP - EA 7370)

Année Universitaire 2021/2022

Remerciements

Avant toute chose, je souhaiterais remercier l'ensemble des personnes ayant contribué à la construction et au développement de ce mémoire sans qui rien n'aurait été possible.

En premier lieu, je souhaiterais remercier M. Fabrice VALLET d'avoir permis de me mettre en relation avec les entraîneurs du Pôle France de badminton lors de mon arrivée à l'INSEP.

Je souhaiterais remercier la fédération française de badminton ainsi que les entraîneurs du Pôle France pour leur temps, leurs conseils avisés ainsi que la patience qu'ils ont accordé à la construction de ce projet et de ce mémoire.

Je voudrais par la suite remercier M. Hervé Mitaty pour son expertise sur l'analyse vidéo ainsi que l'aide qu'il m'a apporté sur l'analyse des différents matchs permettant la réalisation de cette étude. Dans le registre de l'analyse vidéo, je souhaite aussi remercier la société Métavideo pour la création et le développement tout au long de ces deux années d'un outil d'analyse vidéo le plus ergonomique possible.

Je souhaiterais ensuite remercier profondément M. Yoann MORILLO, mon tuteur de stage pendant ces deux années, pour l'ensemble des apprentissages acquis au sein de ces deux ans, pour son temps, ses conseils, ses réflexions, mais surtout pour l'opportunité qu'il m'a offert de rejoindre le projet APID (Aide à la Prise d'Information et de Décision).

Pour terminer, je souhaite remercier la personne sans qui ce mémoire n'aurait pu exister, Mme Claire CALMELS, ma directrice de stage, pour sa patience, son aide, son expertise du domaine scientifique ayant permis le pilotage du projet ainsi que de mon mémoire d'initiation à la recherche scientifique.

Enfin, je ne peux conclure ses remerciements sans avoir une pensée pour l'INSEP. Merci de permettre à des jeunes rêveurs de performance de haut niveau de pouvoir travailler au contact des pôles et des athlètes.

Table des matières

1	INTRODUCTION :	4
2	REVUE DE LITTERATURE	6
	2.1.1 <i>Facteurs biomécaniques</i>	6
	2.1.2 <i>Facteurs physiologiques</i>	7
	2.1.3 <i>Facteurs tactiques</i>	9
3	LA GESTION TEMPORELLE DE L'ENTRE-POINT	13
4	HYPOTHESES	16
5	METHODOLOGIE	17
	5.1 ÉCHANTILLON	17
	5.2 PROTOCOLE EXPERIMENTAL :	20
	5.3 ANALYSE STATISTIQUES PRELIMINAIRE.....	22
	5.4 ANALYSES STATISTIQUES	23
6	RESULTATS	24
	6.1 <i>Résultats des statistiques préliminaires</i>	24
	6.2 <i>Résultats des statistiques (ANOVAs)</i>	24
7	DISCUSSION	26
	7.1 <i>Hypothèse 1</i>	26
	7.2 <i>Hypothèse 2</i>	26
	BIBLIOGRAPHIE	29
	ANNEXE	34
	LA FATIGUE NEUROMUSCULAIRE	43
	LA FATIGUE MENTALE	46
	ANNEXE 3 : ANALYSE STATISTIQUE PRELIMINAIRE.....	49
	RESUME	54

1 Introduction :

« Le badminton est une activité de raquette composée d'actions très intenses et de courtes durées couplées à un court temps de récupération » (Cabello Manrique & González-Badillo, 2003). Elle est composée de cinq disciplines différentes : simple homme, simple dame, double homme, double dame, double mixte. C'est un des sports les plus populaires du monde avec plus de 220 millions de pratiquants, mais aussi le sport de raquette le plus rapide du monde (Kwan et al., 2009), avec des vitesses de volant en match pouvant aller jusqu'à 426 km/h (record du monde détenu par Mads Pieler Kolding). La pratique nécessite des capacités physiologiques propres à sa nature intermittente ainsi que des compétences motrices très fines.

En badminton, les joueurs sont confrontés à différentes incertitudes. Ces incertitudes peuvent être de trois types : événementielles (quel événement va se produire), spatiales (où se produira cet événement), temporelles (quand se produira cet événement). Le joueur qui réussira le mieux à analyser ces incertitudes fera basculer le rapport de force en sa faveur (Gallet, 1998 ; Gomet, 2003). Ainsi, le joueur devra prendre des informations pertinentes au regard de la tâche à exécuter et ce dans un environnement incertain et changeant. Il devra prendre la décision la plus adaptée à la situation tout en mettant son adversaire en difficulté et ce dans un temps réduit. Ceci caractérise la performance de haut niveau en badminton.

Pour gagner un match de badminton, un joueur doit remporter deux manches (appelée set) de 21 points. Un joueur peut gagner un point de deux manières différentes. Suite à un coup qu'il réalise : (1) le volant touche le sol ne permettant pas à l'adversaire de le renvoyer (coup gagnant) ; (2) le volant est renvoyé par l'adversaire qui commet une faute en l'envoyant dans le filet ou en dehors des limites du terrain. Cette faute peut être directe ou provoquée. Une faute directe est une faute réalisée sans que ni l'adversaire ni les conditions de frappe n'ait forcé le badiste à la commettre. Une faute provoquée est une faute qui a été réalisée sous la contrainte de son adversaire (lors d'un débordement). Entre les points, le badiste dispose d'un temps de repos (entre-point) lui permettant de récupérer.

Actuellement, la tendance est aux matchs de plus en plus intenses (Laffaye et al., 2015). Cela s'explique par un changement de tactique, les joueurs sont désormais plus tournés vers l'attaque que dans les années 90 (Tong & Hong, 2000). Les stratégies de jeu sont de plus en plus offensives, les coups d'attaque sont préférés aux coups défensifs et la prise de risque devient

donc plus importante. Ceci se traduit par une probabilité plus importante d'effectuer des fautes. De plus, les matchs étant de plus en plus longs, un état de fatigue (mentale et/ou neuromusculaire) entraînant une perte de lucidité risque de s'installer chez le badiste. Cela pourra se traduire par une augmentation du nombre de fautes réalisées. L'entre-point devient donc un temps fondamental nécessitant d'être investigué.

En me référant à mon expérience de joueur et d'entraîneur, ce temps est potentiellement sous-estimé à l'entraînement et peu abordé en recherche. A ma connaissance une seule recherche a été réalisée sur le sujet (Gomez et al., 2020). Les buts de l'entre-point sont de permettre aux badistes de récupérer physiquement et mentalement, ainsi que de se reconcentrer en vue de la prochaine mise en jeu. Suite à la perte d'un point, le badiste peut être sujet à de nombreuses réflexions négatives (e.g., mon volant était trop court) qui l'empêche de focaliser son attention sur le point à venir. Une excellente gestion des entre-points pourrait être un facteur de performance en badminton.

Ainsi, les buts de notre étude étaient d'investiguer chez le badiste de haut niveau la gestion temporelle de l'entre-point suite à des fautes directes, des fautes provoquées, des coups gagnants et d'examiner l'évolution de cette gestion au cours du match. Nous informerons ensuite les entraîneurs du pôle France de badminton sur la gestion temporelle de badistes pouvant être rencontrés par leurs joueurs lors des prochaines échéances internationales.

Nous avons ainsi posé deux hypothèses. La première était que la durée des entre-points suite à une faute directe était plus longue que celle relevée suite à une faute provoquée et à un coup gagnant. La deuxième était que la gestion temporelle de l'entre-point évoluait au cours du match avec une augmentation du temps pris par les joueurs au fur et à mesure de l'avancement du match.

2 Revue de littérature

Depuis l'intronisation du badminton aux Jeux Olympiques de Barcelone en 1992, la recherche s'est intéressée à étudier et comprendre les facteurs de performance en badminton, aussi bien sur les plans biomécanique (Zhang et al., 2016), physiologique (Fahimi & Vaezmousavi, 2011 ; Girard et al., 2011 ; Liu et al., 2021), tactique (Tong & Hong, 2000) et temporel (Chiminazzo et al., 2018 ; Gomez el al., 2019, 2020 ; Laffaye et al., 2015 ; Phomsoupha 2016).

2.1.1 Facteurs biomécaniques

Au niveau des facteurs biomécaniques, Zhang et al. (2016) ont étudié le smash et la production de vitesse du volant. Leur but était de modéliser le geste du smash à partir : (1) de la description des caractéristiques cinématiques d'un smash réussi en coup droit (trajectoire, vitesse angulaire) ; et (2) de la comparaison des différences cinématiques entre les experts et les novices (avec comme focus la rotation du tronc). Zhang et al. (2016), ont montré que comparés aux novices, les experts : (1) utilisaient plus de rotation du tronc permettant de créer de plus grandes vitesses angulaires ; (2) avaient un plus grand étirement du pectoral majeur lors de la préparation de la frappe (permettant une contraction plus explosive) ; (3) possédaient une plus grande amplitude de mouvement au niveau de la rotation du tronc pour faciliter le mouvement de « fouet » caractéristique du smash (augmentation de la vitesse de la tête de raquette).

Pour répondre à ces smashes puissants, les joueurs doivent réagir aux caractéristiques de la frappe réalisée (vitesse du volant, trajectoire du volant) en ajustant rapidement leur déplacement et positionnement tout au long du jeu (Faude et al., 2007). Par ailleurs, le badminton est une activité où le volant peut atteindre des vitesses phénoménales. C'est le sport de projectile le plus rapide du monde à ce jour, avec un record de vitesse enregistré à 493 km/h en conditions parfaites (étude réalisée par la marque Yonex). En match, ce record est détenu par Mads Pieler Kolding avec un smash enregistré à 426 km/h, contre 263 km/h pour le tennis ou encore 320km/h pour le golf. Cet aspect de vélocité est un facteur de performance fondamental à la pratique et les meilleurs joueurs mondiaux l'ont bien compris.

2.1.2 Facteurs physiologiques

Au niveau physiologique, (Girard et al., 2011) ont effectué une revue sur les mécanismes de fatigue et de récupération dans les activités intermittentes à forte demande énergétique telle que les sports de raquette et sports collectif. Ils ont distingué deux catégories d'efforts représentés par deux concepts différents : l'ISE (Exercice Intermittent de type Sprint) et le RSE (Exercice de Sprint Répétés) plus connu sous le concept d'entraînement RSA (Capacité à Répéter les Sprint). Le RSE correspond aux activités composées d'efforts de sprints entrecoupés par des temps de repos inférieurs à 60 secondes. Dans le cadre de notre thématique, nous allons nous concentrer sur le RSE car les efforts correspondent temporellement et énergétiquement (Phomsoupha, 2016) à ceux retrouvés lors d'un match de badminton (voir *Tableau 1*).

Variables	SH	SD
Durée des matchs (s)	1885.1	1365.1
Durée des échanges (s)	7.7	6.1
Durée de repos (s)	15.4	14.0
TJE (%)	32.1	29.8
Nombre de frappes par échange (F/E)	6.8	5.4
Densité de travail (WD)	0.49	0.43
Fréquence d'échanges (FE)	1.02	0.89

Tableau 1 : Moyenne des différents paramètres temporels chez les badistes de haut niveau lors de matchs de simple homme et simple dame emprunté à Phomsoupha (2016).

Notes. a. SH = Simple Homme ; SD = Simple Dame.

b. Durée des échanges (DE) : durée (temps) allant de la première frappe (service) jusqu'à la fin de l'échange.

c. Durée des repos ou entre-point : durée (temps) entre la fin de l'échange et le début de la prochaine remise en jeu.

d. Temps de jeu effectif (TJE) : somme de la durée de l'ensemble des échanges divisée par le temps total du match et multipliée par 100.

e. Nombre de frappes par échange (F/E) : moyenne du nombre de fois où le volant est frappé pendant les échanges, par l'ensemble des joueurs au cours du match.

f. Densité de travail (WD) : nombre de frappes par échange divisée par la durée de repos et multiplié par 100.

g : Fréquence des échanges (FE^o) : nombre de la F/E divisée par la DE (informations sur la vitesse des échanges).

Le but de Girard et al. (2011),¹ était de comprendre et recenser l'ensemble des facteurs pouvant affecter la performance lors d'effort de type RSE. Ils ont énuméré un ensemble de facteurs allant de la perte de force à l'augmentation des phosphates inorganiques en passant par la perte d'excitabilité membranaire. Cependant, la réflexion que nous retenons de cette étude est que selon les auteurs, il n'existe peu ou pas de tests de terrain se basant sur le principe de RSE (ou RSA) pour évaluer la performance physiologique dans une discipline. Notre étude, investiguant lors de matchs de badminton de haut niveau, les temps moyens des échanges, des entre-points ainsi que leur évolution au cours du match (Période 1 – Période 2 – Période 3), pourrait nous permettre de développer un test basé sur le principe du RSA, pour objectiver la performance physiologique en badminton. Ce résultat est d'autant plus intéressant, que la majorité des études faites sur le RSA ont été effectuées en conditions de laboratoire sur ergomètre en environnement contrôlé. Plus de recherches sur ce point nous permettrait de faire avancer le monde de l'entraînement en badminton et celui de la recherche expérimentale. Nous pourrions non seulement potentiellement comprendre les facteurs de performance (VO₂ max, cinétique de VO₂...) ainsi que les facteurs de fatigue (comme énoncés auparavant) en badminton.

Pour répondre à cette problématique de terrain, (Liu et al., 2021) ont étudié l'impact d'un protocole d'entraînement SIT (Sprint Interval Training) de huit semaines sur des joueurs de badminton élite (seule étude physiologique réalisée directement sur le badminton de haut niveau, à ma connaissance). L'entraînement proposé était composé de deux séances par semaine sur ergocycle ainsi que d'un entraînement de type « multi-volants » spécifique à la pratique du badminton. L'utilisation d'un ergocycle plutôt que de la course à pied, réalisé dans d'autres études (e.g. Koral et al., 2018), a été justifié par l'acquisition plus rapide d'une bonne technique de pédalage comparé à la course, ainsi qu'un meilleur effet préventif des blessures. Après huit semaines d'entraînement, le protocole d'entraînement SIT a permis une augmentation de la capacité aérobie, une amélioration de l'apport en oxygène ainsi qu'une meilleure capacité de récupération. L'étude de Liu et al. (2021) pourrait être un point de départ pour l'établissement d'un protocole de test ou d'entraînement de terrain spécifique au badminton nous apportant des données références sur des joueurs élites. Le badminton étant par nature une discipline bipède, il pourrait être intéressant pour renforcer la spécificité du protocole effectué par Liu et al. (2021), de remplacer les séances effectuées sur ergocycle, par des séances de sprint comme réalisé par Koral et al. (2018).

¹ Le terme « sprint » définit tout type d'effort inférieur à dix secondes pendant lequel la performance est difficilement maintenue.

2.1.3 Facteurs tactiques

Au niveau tactique, Tong et Hong (2000), ont étudié les schémas de jeu tactique des meilleurs badistes mondiaux permettant de gagner en simple homme au badminton. Ils ont constaté tout d'abord que le smash était le coup le plus souvent utilisé pour gagner. Le smash représentait 54% des points gagnés dans les matchs internationaux étudiés. Ils ont conclu sur le fait que la stratégie la plus efficace pour gagner à très haut niveau était basée sur la pression et l'attaque. Au badminton, la variété des coups est également importante. Cela permet une multitude de schémas de jeu plus ou moins complexes et d'avoir un panel de réponses conséquent à chaque coup réalisé par l'adversaire. La connaissance des principaux schémas tactiques utilisés par les badistes de haut niveau permettrait de mettre en place des stratégies spécifiques pour en exploiter les faiblesses.

2.1.4 Facteurs temporels

La rapidité des coups et des déplacements en badminton en font une activité intermittente à forte demande énergétique (Girard, et al. 2011). L'investigation de la dimension temporelle est donc fondamentale pour mettre en place un entraînement adapté répondant aux contraintes temporelles. À ma connaissance, quatre études ont investigué la dimension temporelle en badminton (Chiminazzo et al., 2018 ; Gomez el al., 2019, 2020 ; Laffaye et al., 2015 ; Phomsoupha 2016)

Phomsoupha (2016), a étudié l'impact de la fatigue sur la performance en badminton en recensant les études s'étant intéressées aux différents paramètres temporels lors de matchs de haut niveau. Il a montré que les durées des matchs, des échanges et des entre-points chez des badistes évoluant en simple homme étaient plus élevées que celles relevées chez leurs homologues féminines (voir Tableau 1). Il a également mis en évidence que le pourcentage de temps de jeu effectif, le nombre de coups par échange, la densité de travail et la fréquence d'échanges étaient également supérieurs chez les hommes (voir Tableau 1). Enfin, il a observé que l'intensité globale du jeu chez les joueurs de simple homme était supérieure à celle retrouvée chez leurs homologues de simple dame. En accord avec les résultats d'Abian-Vicèn

et al. (2012), les échanges de simple dame sont plus courts et peuvent mener à un plus grand temps de jeu effectif en fonction des études.

Laffaye et al. (2015), quant à eux, ont étudié l'évolution des caractéristiques de la discipline du simple homme des JO 1992 à Barcelone jusque ceux de Londres en 2012. Ils ont montré que depuis les JO de 1992, l'intensité des échanges étaient beaucoup plus importante : le nombre de frappes par échange avait augmenté de 34% tandis que la densité de travail (WD) avait diminué de 58,2%. De surcroît, le temps de jeu effectif des matchs avait baissé de 34,5%. Cela signifie que les rallyes étaient plus intenses et les temps de récupérations plus longs, menant à des matchs d'une plus longue durée. Cette étude a impacté les pratiques d'entraînement en badminton, permettant aux entraîneurs d'adapter leurs entraînements aux contraintes temporelles des matchs de haut niveau.

Chiminazzo et al. (2018), ont également étudié la répartition des différents coups en simple homme lors des Jeux olympiques de 2016 à Rio. L'objectif était de comparer les différences techniques entre les phases de groupe et la phase d'élimination directe. Les Jeux Olympiques au badminton se déroulent en deux phases : (1) une phase de groupe avec trois joueurs par groupe et dont seul le badiste finissant premier accèdera à la phase suivante ; et (2) une phase d'élimination directe où chaque match élimine définitivement le perdant du match du tournoi. La comparaison entre les phases a montré des temps de matchs et des temps d'entre-point plus longs ainsi qu'un plus grand nombre de points joués et de frappes par échange lors de la phase d'élimination directe. Cela montre une montée en intensité au fur et à mesure que la compétition avance. Chiminazzo et al. (2018) ont donc démontré que l'enjeu serait donc un facteur poussant les badistes de haut niveau à jouer avec plus d'intensité et de vitesse au fur et à mesure de l'avancement de la compétition. Cependant, un des facteurs n'ayant pas été pris en compte dans cette étude, est le critère de sélection des athlètes pour les Jeux Olympiques. Lors des phases de groupe, la majorité des poules contiennent un joueur qualifié grâce à la nationalité et la région géographique qu'il représente, mais dont le niveau n'est pas assez élevé pour pouvoir rivaliser avec les meilleurs joueurs mondiaux. En prenant en compte ce facteur, nous pouvons aussi expliquer pourquoi une montée en intensité est observé par les chercheurs de l'étude.

Gomez et al. (2020) ont également réalisé une étude sur les facteurs temporels en badminton. Leurs objectifs étaient (1) d'identifier les variables contextuelles associées à l'occurrence de longs échanges (à quel moment les longs échanges intervenaient dans les matchs) ; et (2) d'identifier les différences de performance entre les rallyes (= long échange) et le rallye subséquent, prenant en compte le contexte du match et le genre des joueurs. Ils ont observé que les rallyes duraient entre 13 et 79s, représentant 1100 échanges chez les hommes, entre 11 et 52s représentant 900 échanges chez les femmes. Le résultat principal de cette étude était que le point suivant un rallye était plus sujet à résulter en une faute directe et en une durée (voir Tableau 1) plus courte, hypothétiquement dû à la fatigue s'étant installée lors du rallye. Les résultats secondaires étaient multiples. Tout d'abord, ils ont conclu qu'il était très important de prendre en compte les spécificités liées aux genres des badistes. Les rallyes n'apparaissaient pas au même moment ni dans les mêmes contextes entre les hommes et les femmes. Ils ont identifié plus d'une dizaine de contextes permettant d'expliquer l'apparence des longs rallyes en fonction du genre. Nous ne développerons pas ces contextes car ils ne sont pas au cœur de notre problématique. Ils ont ensuite comparé leurs résultats avec ceux trouvés par Laffaye et al., en 2015 et ont constaté que le taux d'apparition de longs rallyes dans leur étude (19,6% et 24,5%) étaient supérieurs à ceux trouvés par Laffaye et al., (15%), confirmant ainsi la tendance actuelle du badminton à se diriger vers des efforts intermittents de plus en plus élevés et fréquents.

Pour terminer, (Gomez et al., 2019), ont étudié les facteurs temporels en fonction du genre, des types de matchs (long, moyen, court) et des sets. Leurs résultats sont différents de ceux trouvés par Phomsoupha (2016). Le temps d'effort a évolué de 7.7s à 9.5s et le temps d'entre-point de 15.4s à 22.94s. Nous confirmons donc bien ici la tendance aux matchs à efforts plus longs et aux temps de récupération plus longs. Ils ont aussi confirmé les résultats de Phomsoupha (2016) au niveau des différences hommes-femmes. Les joueurs de simple homme jouent avec une plus grande intensité que les joueuses de simple dame. Les critères temporels étaient supérieurs au niveau des temps d'effort, temps d'entre-point, densité de travail, nombre de frappes par échange et par match. Ses résultats sont principalement observés dans les matchs caractérisés comme « longs » par les auteurs plutôt que dans les matchs « courts » ou peu de différences sont observés. Le facteur non investigué dans l'étude de Gomez et al. (2019), est le rapport entre le temps d'entre-point et le résultat du point (i.e., faute directe, faute provoquée, coup gagnant), permettant d'ajouter encore plus de contexte.

En se basant sur les résultats de Gomez et al. (2019, 2020), les matchs de badminton deviennent de plus en plus longs et intenses. Au cours de ces matchs, de la fatigue (voir Annexe pour complément d'informations) apparaît et vient négativement impacter la performance. Des effets majeurs peuvent se traduire par : une perte de lucidité, une perte de force, une augmentation de la difficulté perçue de l'effort (Pageaux & Lepers, 2018) qui entrainerait une perturbation de la prise d'information, de la prise de décision, de la capacité de reconcentration et se traduirait par la réalisation de fautes

Par conséquent, les buts de notre étude étaient (1) d'investiguer chez le badiste de haut niveau la gestion temporelle de l'entre-point suite aux différents résultats possibles (coup gagnant/faute directe/faute provoquée) ; et (2) d'examiner s'il existe une évolution de cette gestion temporelle tout au long du match avec l'apparition de la fatigue. Nous informerons ensuite les entraîneurs du pôle France de badminton sur la gestion temporelle de badistes pouvant être rencontrés par leurs joueurs lors des prochaines échéances internationales.

Nous avons fait le choix d'étudier le simple homme car au regard des recherches précédentes, cette discipline se révèle être plus intense que le simple dame et générerait une apparition de fatigue plus importante que chez les femmes.

3 La gestion temporelle de l'entre-point

À notre connaissance, aucune étude ne s'est directement intéressée à l'importance de la gestion temporelle des entre-points lors d'un match de badminton. Fahimi et Vaezmousavi (2011) ont eux indirectement étudié l'entre-point (qui en moyenne dure 15 secondes ; voir Tableau 1). Ils se sont intéressés aux dix secondes précédents un service de badminton avec pour objet d'étude l'investigation de la fréquence cardiaque et le niveau d'anxiété des joueurs. Ainsi, leurs résultats pourraient être transférables au badminton car les temps pré-services analysés par ces auteurs sont similaires aux temps d'entre-point d'un match étudié dans notre étude ; seul le contexte change. Fahimi et Vaezmousavi (2011) avaient pour objectif d'examiner : (1) les modifications de la fréquence cardiaque (FC), qui reflèterait la vigilance et les modifications du niveau d'activation (via la conduction électrique de la peau), 10 secondes pré-service au badminton ; (2) les différences de profils physiologiques des joueurs de badminton en fonction du niveau d'expertise (20 novices vs 20 experts) ; et (3) la relation entre les profils physiologiques et la performance des joueurs. Les tâches à effectuer étaient des services courts dans différentes zones du terrain, rapportant des points en fonction de la difficulté à atteindre ces zones (difficulté estimée par Fahimi et Vaezmousavi). Le but pour les badistes était donc d'obtenir le meilleur score possible. Les auteurs ont montré que les badistes experts avaient un niveau d'activation plus faible avant de servir et réussissaient systématiquement à réduire leurs niveaux d'activation environ cinq secondes avant de frapper le volant. Cette baisse était suivie d'un retour aux niveaux d'activation basaux pour les badistes une fois le volant frappé. Chez les badistes novices, il n'y avait pas de baisse de l'activation pré-service. Au contraire une augmentation croissante jusqu'au moment de la frappe, puis une baisse et un retour aux niveaux d'activation de base. Au niveau de la fréquence cardiaque, ils ont montré une réduction significative avant de frapper le volant chez les experts. Cette baisse de la fréquence cardiaque a été attribué à la vigilance, qui dans ce contexte, « se réfère à l'état d'attention d'un individu se concentrant sur un stimulus externe (...) ici les cibles représentées par les zones de service » (Fahimi et Vaezmousavi, 2011).

Selon Fahimi et Vaezmousavi (2011), une réduction de la fréquence cardiaque permettrait d'améliorer la performance badiste de haut niveau en lui permettant de se concentrer sur des indicateurs pertinents (zone à viser, puissance du volant, anticipation du retour de l'adversaire) afin d'engager le point de manière efficace (bonne vitesse et bonne trajectoire). Cette réduction

n'étant pas observé chez les novices, cela signifierait que les étapes de préparation spécifiques à l'exécution d'un service de badminton serait une compétence développée grâce à la maîtrise de la pratique. Enfin, les auteurs ont également montré que la réduction de la fréquence cardiaque des badistes experts sur les services ayant rapportés le plus de points était plus importantes. Cela mettrait donc en évidence l'importance pour les badistes, de réduire leur fréquence cardiaque avant de servir, pour produire une meilleure performance (meilleure concentration et meilleure attention).

Cette étude fait directement écho à l'étude de Treymane et Barry (2001) sur des tireurs. Les auteurs suggéraient que lorsque l'étape de préparation ne requérait pas un effort physique important, la réduction de la fréquence cardiaque était caractéristique de l'attention portée par le sujet sur la tâche à effectuer. Au contraire, lorsque la tâche nécessitait un effort physique important, la réduction de la fréquence cardiaque ne se produisait pas. Chez les tireurs, la réduction de la fréquence cardiaque commençait 15 secondes avant le coup de feu car la tâche à réaliser demandait une concentration maximale.

Les temps d'entre-point lors d'un match de badminton (voir Tableau 1) pouvant être similaires aux temps étudiés par Treymane et Barry (2001), nous pouvons suggérer que ces résultats pourraient être transférables au badminton (le service étant une tâche ne requérant pas d'effort physique important, comme expliqué par Treymane et Barry, 2001).

L'entre-point au badminton est un moment bien spécifique. De mon expérience en tant que joueur de niveau national, au cours d'un match, lors des entre-points, différents événements peuvent se produire : (1) réflexions que se fait le joueur et qui peuvent générer de nombreux états émotionnels ou ressentis (frustration, mécontentement, envie, joie...) ; (2) échanges avec les acteurs environnants (l'arbitre, le coach, le juge-arbitre) ; (3) moments particuliers (challenge, passage de la serpillère, appel du personnel médical, changement de raquette en cas de « casse »). L'entre-point serait donc au service de fonctions multiples permettant d'optimiser, s'il est bien géré, la performance lors de matchs de badminton :

- Au niveau tactique et stratégique : quels coups ont fonctionné et dans quelles situations, quelles adaptations au niveau du plan de jeu peuvent être mises en place pour pallier à ces remarques.

- Au niveau technique : quels sont les critères de réussite ou d'échec des coups réalisés, quelles adaptations à réaliser pour améliorer techniquement
- Au niveau physique : comment le badiste se sent physiquement, quelles adaptations doit-il faire au schéma de jeu appliqué jusqu'à présent en fonction de son état physique et de celui de son adversaire.
- Au niveau mental : éviter toute pensée négative et frustrante pouvant entraîner la perte de point, se reconcentrer sur le point suivant.

Toutes ses réflexions peuvent, elles aussi, être impactées par l'environnement dans lequel se trouve le badiste au moment présent : décision arbitrale défavorable, présence du public (à domicile ou à l'extérieur), température de la salle, conditions climatiques, position du coach pendant les matchs. Ce dernier point souligne le fait que le coach (depuis 2006 et le changement des règles) peut faire des retours directs sur la performance du badiste entre les échanges (renforcement, encouragement, conseil, modification tactique). Cet entre-point aurait donc un rôle considérable : récupérer, se reconcentrer sur le point suivant et écouter les remarques de son coach.

4 Hypothèses

Nous avons posé deux hypothèses. La première était que la durée des entre-points suite à une faute directe était plus longue que celle relevée suite à une faute provoquée ou un coup gagnant, à cause, nous pensons, des phases de réflexion et de reconcentration plus importantes dans ce cas. Suite à une faute directe (e.g., service faute), le badiste passerait par une première phase où il ressasserait de nombreuses réflexions négatives en rapport avec cette faute. Puis, il passerait par une deuxième phase de reconcentration et de remplacement pendant laquelle il doit se déplacer vers la zone de mise en jeu. Durant cette phase, des mots peuvent être échangés avec le coach sur la tactique à mettre en place sur les prochains points. Enfin, il passerait par une dernière phase où il doit se préparer à recevoir le service, à se remémorer sa tactique et à oublier ce qu'il s'est passé au point précédent.

La deuxième hypothèse était que la gestion temporelle de l'entre-point évoluait progressivement au cours du match avec une augmentation du temps pris par les badistes entre deux échanges. En effet, plus le match avance et plus la fatigue va se faire ressentir chez les badistes, ce qui pourrait entraîner des réponses motrices moins rapides, moins précises, pouvant s'accompagner d'une perte de lucidité. Tout ceci entravera le processus de récupération du badiste (passage d'une respiration nasale à une respiration buccale moins optimale, Russo et al., 2017), qui prendra plus de temps pour se remettre en jeu.

5 Méthodologie

5.1 Échantillon

Vingt-trois vidéos de matchs de badminton des meilleurs joueurs mondiaux ont été sélectionnés au hasard selon trois critères d'inclusion : (1) les joueurs apparaissant dans les vidéos devaient faire partie du top 50 mondial ou être Français ; (2) les vidéos devaient être disponibles sur internet en entières avec les temps complets de jeu et d'entre-point sans coupure montage ; et (3) les vidéos devaient être de qualité, c'est-à-dire les matchs devaient être les plus récents disponibles sur internet et faisaient partie du circuit BWF World Tour 2019-2020-2021-2022. En sélectionnant les matchs de ce circuit, nous nous assurons de la qualité des matchs, puisque l'enjeu de ces derniers est important pour les badistes de haut niveau. Les joueurs étudiés sont les suivants :

- Viktor Axelsen – Danemark - N°1 Mondial – Champion Olympique (2021) et Champion du Monde
- Anders Antonsen – Danemark - N°3 Mondial
- Rasmus Gemke – Danemark - N°13 Mondial
- Hans-Kristian Vittinghus - Danemark - N°22 Mondial
- Chen Long - Chine – N°6 mondial – Champion Olympique (2016) et double Champion du Monde
- Shi Yuqi – Chine – N°16 Mondial (ancien top 5 mais baisse du classement suite à une blessure)
- Lu Guangzu – Chine - N°25 Mondial
- Lin Dan – Chine – Non classé aujourd'hui (retraite) mais ancien Double Champion Olympique (2008-12) et quintuple champion du Monde
- Kento Momota – Japon – N°2 mondial – Double Champion du Monde
- Kanta Tsuneyama – Japon - N°14 Mondial
- Kenta Nishimoto – Japon - N°20 Mondial
- Ajay Jayaram – Inde – Non classé aujourd'hui (retraite) – Ancien top 20 Mondial
- Sameer Verma – Inde – N°27 Mondial
- Srikanth Kidambi – Inde – N°11 Mondial

- Tzu Wei Wang – Taïwan – N°15 Mondial
- Anthony Sinisuka Ginting – Indonésie – N°5 Mondial – Médaille de Bronze en 2020
- Jonatan Cristie – Indonésie – N°8 Mondial – Champion d’Asie
- Kunlavut Vitidsarn – Thaïlande – N°18 mondial - Triple Champion du Monde junior
- Kantaphon Wangcharoen – Thaïlande – N°21 Mondial
- Sitthikom Thammasin – Thaïlande – N°31 Mondial
- Loh Kean Yew – Singapour – N°10 Mondial – Champion du Monde
- Ng Ka Long Angus – Honk Kong – N°12 Mondial
- Lee Cheuk Yiu – Honk Kong – N°17 Mondial
- Heo Kwang Hee – Corée du Sud – N°30 Mondial
- Daren Liew – Malaisie – N°35 Mondial
- Tien Chen Chou – N°4 Mondial
- Thomas Rouxel – France – N°41 Mondial
- Alex Lanier – France – Top 100 Mondial (17 ans)
- Arnaud Merkle – France – N°60 Mondial
- Brice Leverdez – France – N°39 Mondial
- Christo Popov – France – N°56 Mondial – Champion de France
- Toma Junior Popov – France – N°28 Mondial – Champion de France
- Toby Penty – Angleterre – N°50 Mondial
- Nhat Nguyen – N°42 Mondial

L’ensemble des informations que nous avons jugées comme pertinentes ont été récapitulées dans le Tableau 2.

Numéro	Match	date	Score	Temps set 1 (min)	Temps set 2 (min)	Temps set 3 (min)	Temps match (min)
1	Kento Momota vs Anthony Sinisuka Ginting	23/11/2020	17-21 21-17 21-14	25	32	30	87
2	Hans-Kristian Vittinghus vs Kenta Nishimoto	27/11/2020	17-21 12-21	21	24		45
3	Tien Chen Chou vs Viktor Axelsen	07/12/2020	13-21 14-21	20	25		45
4	Shi Yu Qi vs Kantaphon Wangcharoen	09/12/2020	21-15 26-24	22	33		55
5	Tien Chen Chou vs Heo Kwang Hee	17/12/2020	21-12 21-13	17	20		37
6	Kunlavut Vitidsarn vs Ajay Jayaram	18/12/2020	22-20 21-12	18	21		39
7	Daren Liew vs Viktor Axelsen	18/12/2020	10-21 19-21	18	26		44
8	Lee Zii Jia vs Tien Chen Chou	30/01/2021	15-21 17-21	20	23		43
9	Ng Ka Long Angus vs Momota	01/02/2021	19-21 11-21	30	24		54
10	Lu Guangzu vs Viktor Axelsen	17/02/2021	19-21 16-21	19	21		40
11	Lu Guangzu vs Lin Dan	17/02/2021	11-21 21-6 18-21	15	14	24	53
12	Anders Antonsen vs Shi Yu Qi	06/03/2021	17-21 16-21	19	26		45
13	Kento Momota vs Kenta Nishimoto	30/03/2021	21-10 21-16	16	25		41
14	Kanta Tsuneyama vs Toby Penty	01/04/2021	21-17 21-14	21	23		44
15	Shi Yu Qi vs Viktor Axelsen	19/04/2021	15-21 7-21	21	18		39
16	Viktor Axelsen vs Chen Long	23/08/2021	21-15- 21-12				0
17	Lu Guangzu vs Kanta Tsuneyama	20/09/2021	14-21 21-18 21-17	19	24	24	67
18	Srikanth Kidambi vs Sitthikom Thammasin	23/09/2021	21-11 21-11	17	20		37
19	Lee Cheuk Yiu vs Thomas Rouxel	05/11/2021	21-17 21-18				0
20	Hans-Kristian Vittinghus vs Loh Kean Yew	09/12/2021	21-9 21-4	11	13		24
21	Rasmus Gemke vs Fabian Roth	02/01/2022	19-21 24-26	30	36		66
22	Christo Popov vs Anthony Sinisuka Ginting	07/02/2022	21-17 21-18	22	27		49
23	Nhat Nguyen vs Tien Chen Chou	03/03/2022	8-21 16-21	17	24		41

Tableau 2 : Récapitulatif des informations sur les vingt-trois matchs analysés

5.2 Protocole expérimental :

Le protocole était composé de deux étapes. La première étape était l'analyse des différents matchs sélectionnés. Trois personnes pratiquant l'activité à niveau national et/ou possédant un diplôme d'état ont participé à la collection des données via l'application Web Métavidéo. Métavidéo développe sur demande spécifique et personnalisée des clients, une application web permettant de faire de l'analyse vidéo sur base d'un lecteur interactif. Afin d'améliorer la cohérence de nos analyses, Formabad (organisme fédéral responsable de la formation des entraîneurs de badminton en France) nous a aidé à construire un lexique commun et universel des coups au badminton. Cela nous permet d'éviter la variance interindividuelle liée aux différences de langages et ainsi s'assurer de la bonne collecte des données. Puis, nous avons construit nos panneaux de séquençages, nous permettant d'analyser les matchs à travers ce que l'on appelle des « tags ». Les tags sont des arrêts sur image nous permettant de caractériser l'action à l'écran.

Pour construire ce panneau, nous avons besoin de réunir les différents éléments constitutifs du badminton et de l'analyse vidéo (voir Figure 2). Les différents éléments que nous avons utilisés sont :

- La vidéo du match, grâce à un lien URL ou un replay disponible sur le site Youtube, nous pouvons copier le lien dans le séquenceur pour faire apparaître la vidéo.
- Une matérialisation du terrain, nous permettant de noter le positionnement du joueur au moment de la frappe,
- Une liste déroulante regroupant l'ensemble des différents tags construits avec la possibilité de les modifier,
- Un ensemble d'éléments caractéristiques du badminton, permettant de caractériser les tags construits à travers des « boutons » tels que les boutons « point » et « faute ».

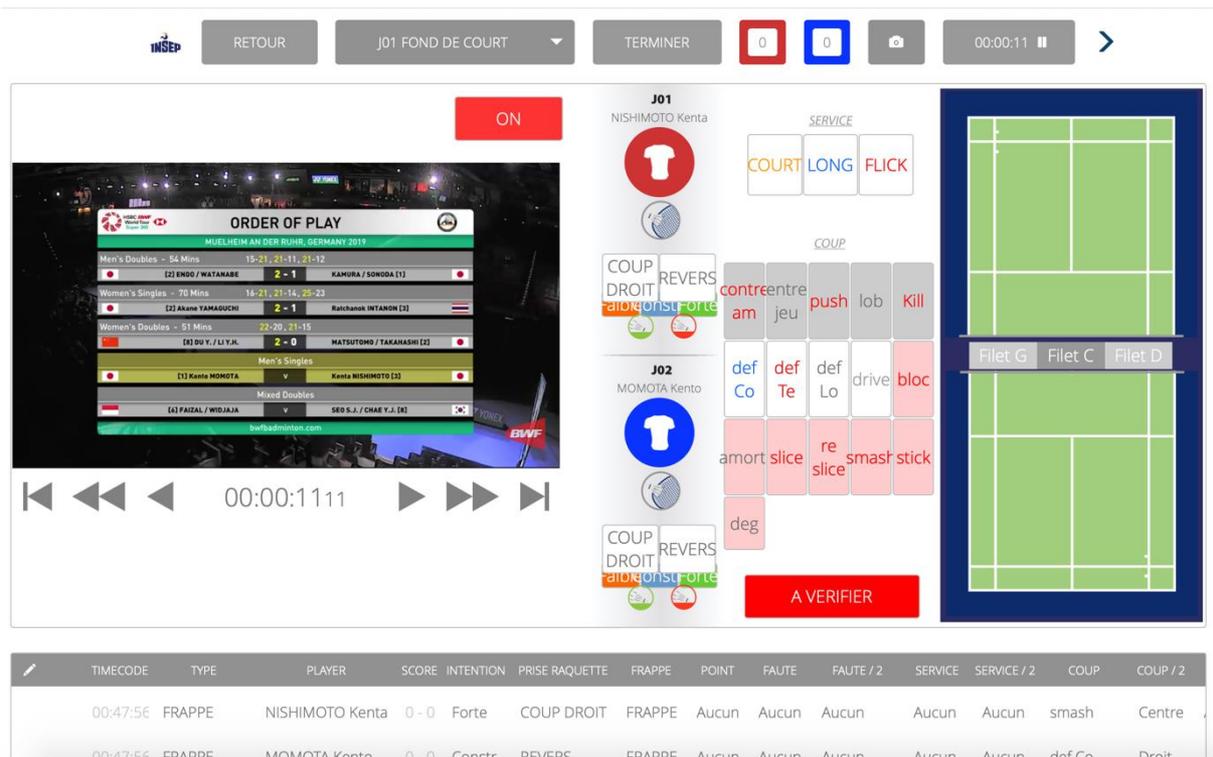


Figure 1: Panneau de séquençage utilisé pour l'étude, construit à partir de l'application Web Métavidéo

La deuxième étape du protocole était, au regard de nos hypothèses, d'identifier précisément les variables indépendantes et dépendantes. Nous avons une seule variable dépendante pour cette étude : le temps (en s) que dure l'entre-point. Pour les variables indépendantes, nous en avons six, que nous pouvons classer en deux familles de trois variables chacune. La première famille de variable est temporelle. Pour mesurer et évaluer une évolution au cours du match, nous avons décidé de séquencer les matchs en trois périodes différentes : (1) la première période correspondant au premier tiers du match ; (2) la deuxième période correspondant au deuxième tiers du match ; et (3) la troisième période correspondant au troisième tiers du match. La deuxième famille de variable indépendante est en relation avec le résultat du point. Ces trois variables correspondent aux trois résultats possibles : (1) coup gagnant (PG) ; (2) faute directe (FD) ; (3) faute provoquée (FP). Pour résumer, le plan de l'étude était : trois périodes (Période 1, Période 2, Période 3), et trois résultats de point (PG, FD, FP)

5.3 Analyse statistiques préliminaire

L'ensemble de notre démarche d'analyse statistique préliminaire avait pour but d'aboutir à la création d'un tableau récapitulatif des différentes moyennes de temps d'entre-point que nous allions calculer. Grâce à l'outil métavidéo, nous avons pu analyser des matchs de badminton de haut niveau ainsi que de recueillir les données statistiques liées à cette analyse. Après un export de la base de données puis une vérification des tags qui avaient été créés lors de l'analyse (pour plus d'informations complémentaires voir Annexe 3 : Analyse Statistique Préliminaire), nous avons obtenu un total de 2008 échanges (2008 mises en jeu ainsi que 2008 résultats de point). Pour construire notre tableau final, nous nous étions basés sur l'étude de Gomez et al., (2018) dans laquelle les auteurs effectuaient deux mesures de temps d'entre-point (TE) différentes : le temps d'entre-point « normal » (avec les pauses de mi-set et de fin de set) et le temps d'entre-point « réel » (sans les pauses de mi-set et de fin de set). Pour avoir des données complémentaires, nous avons fait les choix suivants :

- De calculer les temps d'entre-point moyens avec les pauses de fin de set et de mi-set (**TE Global**)
- De calculer les temps d'entre-point moyens sans les pauses de fin de set (**TE set**)
- De calculer les temps d'entre-point moyens sans les pauses de fin de set et de mi-set (**TE effectif**)

Une fois ces moyennes obtenues, pour nous permettre de valider nos deux hypothèses², nous avons calculé les moyennes des temps d'entre-point en fonction de la Période du match (pour rappel : Période 1-2-3) ainsi que les moyennes des temps d'entre-point en fonction du résultat du point (pour rappel : Faute Directe, Faute Provoquée, Coup gagnant).

² Hypothèse N°1 : La première était que la durée des entre-points suite à une faute directe était plus longue que celle relevée suite à une faute provoquée ou un point gagné.

Hypothèse N°2 : La deuxième hypothèse était que la gestion temporelle de l'entre-point évoluait au cours du match avec une augmentation du temps pris par les joueurs au fur et à mesure de l'avancement du match.

5.4 Analyses Statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel statistica 64. Les moyennes des temps d'entre-points pour les vingt-trois matchs ont été analysées via deux ANOVAs à mesures répétées. Pour valider ou invalider notre première hypothèse (i.e., durée des entre-points suite à faute directe plus longue que durée suite à faute provoquée ou coup gagnant), nous avons réalisé une première ANOVA. Cette ANOVA comportait un facteur « Période » avec trois niveaux : première période du match, deuxième période du match, troisième période du match. Pour valider ou invalider la seconde hypothèse (i.e., gestion temporelle de l'entre-point évoluait au cours du match avec augmentation du temps pris au fur et à mesure de l'avancement du match), nous avons réalisé une seconde ANOVA. Cette ANOVA comportait un facteur « Résultat de l'échange » avec trois niveaux : coup gagnant, faute directe, faute provoquée. Des tests post hoc (Scheffé) ont été réalisés lorsque les résultats des ANOVAS étaient significatifs. La normalité de la distribution des données a été réalisée à l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov et ce avant la réalisation des ANOVAS à mesures répétées.

6 Résultats

6.1 Résultats des statistiques préliminaires

Pour l'ensemble des matchs, le temps moyen de match était de 2881.92 secondes soit 48.03 minutes. Le temps moyen des échanges était de 9.99 secondes. Pour le TE Global, le temps moyen était de 29.24 secondes. Pour le TE Set, il était de 26.70 secondes. Et pour le TE Effectif, il était de 24.22 secondes (voir Table 1).

23 matchs analysés	En s
Moyenne Temps d'échange	9.99
Moyenne TE global	29.24
Moyenne TE set	26.7
Moyenne TE effectif	24.22
Moyenne Temps de match	2881.92

Table 1 : Résultats généraux de l'ensemble des matchs analysés

6.2 Résultats des statistiques (ANOVAs)

Les distributions des données de temps, que ce soit pour la première ou deuxième ANOVA, était normale.

Première ANOVA. L'effet « Résultat » était significatif [$F(2,44) = 7.052, p = .002205$]. Un test post hoc (Scheffé) a été réalisé. Une différence significative a été trouvée (EP-FD vs EP-CP). Le temps d'entre-point suite à une Faute Directe était inférieur à celui suite à un Coup Gagnant (21.926 sec (3,18) vs 24.439 sec (3,68), $p = .006769$; voir Figure 1). Une autre différence significative a été trouvée (EP-FD vs EP-FP). Le temps d'entre-point suite à une Faute Directe était inférieur à celui suite à une Faute Provoquée [(21.926 sec (3,18) vs 24.287 sec (3,90), $p = .011514$; voir Figure 1]. Aucune autre différence significative n'a été trouvée.

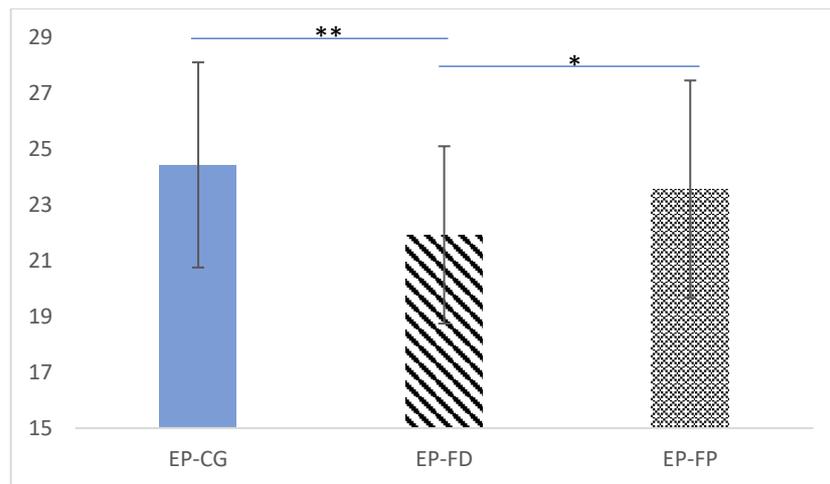


Figure 1 : Durée (en sec) des entre-points suite à un Coup Gagnant, une Faute Directe, une Faute Provoquée (** $p < .008$; * $p < .02$)

Deuxième ANOVA. L'effet « Période » était significatif [$F(2,44) = 6.731, p = .002816$]. Un test post hoc (Scheffé) a été réalisé. Une différence significative (EP-P1 vs EP-P3) a été trouvée. Le temps de l'entre-point pendant la Période 1 était inférieure au temps de l'entre-point pendant la Période 3 (22.149 sec (3,9) vs 25.161 sec (2,90) ; $p = .002818$) (voir Figure 2). Aucune autre différence significative n'a été observée.

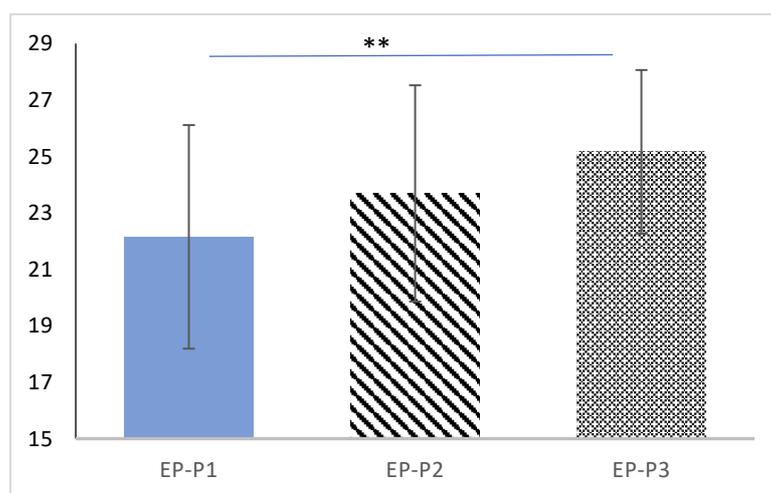


Figure 2 : Durée (sec) des entre-points lors de la 1^{ère}, 2^{ème}, 3^{ème} période des matchs (** $p < .003$)

7 Discussion

Le but de cette étude était d'investiguer la gestion temporelle de l'entre-point chez les badistes de haut niveau. Nous avons posé deux hypothèses. Notre première hypothèse était que l'entre-point faisant suite à une Faute Directe serait plus long qu'un entre-point suite à une Faute Provoquée ou un Coup Gagnant. Notre seconde hypothèse était que le temps d'entre-point évoluait progressivement au cours du match.

7.1 Hypothèse 1

Les résultats trouvés sont contraires à notre hypothèse. L'entre-point suite à une Faute Directe est significativement plus court que suite à un Coup Gagnant ou à une Faute Provoquée (voir Figure 1). Ces résultats inattendus appellent à plusieurs réflexions.

Le temps d'entre-point n'est, peut-être pas, fonction du résultat du point se terminant, mais du contexte global dans lequel l'échange s'est terminé. Il a été démontré que le temps d'entre-point était proportionnel au temps d'échange précédent (Laffaye et al., 2015 ; $r = 0.38$, $p < .01$). La fatigue générée pourrait être un des facteurs explicatifs du temps d'entre-point. Pour comprendre nos résultats, il serait intéressant de réaliser une analyse match par match en prenant compte du résultat du point précédent l'entre-point (Coup gagnant, Faute Directe, Faute Provoquée). L'idéal serait, selon nous, d'insérer le résultat de l'échange précédent l'entre-point dans le contexte d'un match (premier tour vs finale des championnats du Monde, conditions climatiques, fréquence d'échange, nombre de coups par échange, durée de l'échange). Il nous semble néanmoins que ceci est difficilement réalisable dans le cadre d'une recherche scientifique académique.

7.2 Hypothèse 2

Nous avons trouvé que la durée de l'entre-point augmentait pendant un match, au cours duquel trois périodes avaient été distinguées (voir Figure 2). Nous validons ainsi notre seconde hypothèse. Cela peut s'expliquer par plusieurs raisons.

Premièrement, pour gagner un match de badminton, le badiste de haut niveau est amené à renvoyer le volant rapidement de n'importe quelle position vers l'ensemble des zones du terrain (Gomez et al., 2019). Les trajectoires de volant sont de nos jours, plus tendues et plus rapides (Gomez et al., 2020). Les joueurs ont donc dû s'adapter. L'essor de la préparation physique dans notre discipline permet aux joueurs de devenir plus rapides, plus explosifs aussi bien sur les membres supérieurs que sur les membres inférieurs. Cela s'observe par l'augmentation de la fréquence d'échange (34% d'augmentation, Laffaye et al., 2015), avec en moyenne 1.26 coups par seconde. De même, pour vaincre son adversaire, le badiste est amené à utiliser un style de jeu très agressif (i.e., basé sur la pression, l'attaque et la vitesse), empêchant l'adversaire de pouvoir imposer son rythme. Dans ce but, les badistes ont recours à des coups rapides et offensifs, tels que le smash. Ceci est confirmé par Tong & Hong (2000) qui ont démontré que 54% des points gagnés dans les matchs étudiés provenaient de l'utilisation du smash. Li et al. (2017) eux considèrent le smash comme le coup offensif le plus efficace (1 coup d'attaque sur 5). La fatigue générée par un style de jeu agressif avec comme coups principaux le smash, l'amorti et le jeu au filet (Tong & Hong 2000) distribué sur l'ensemble du terrain forcera ainsi le badiste à augmenter son temps d'entre-point pour être capable de reprendre le jeu dans les meilleures conditions possibles.

Par ailleurs, il est intéressant de noter que dans la littérature scientifique, Laffaye et al. (2015), ont démontré une augmentation des temps moyens des matchs, des échanges et des entre-points. Ces résultats ont été confirmés par les résultats de Gomez et al. (2019) et de la présente étude.

Deuxièmement, l'enjeu aurait un impact direct sur l'intensité des échanges (Chiminazzo et al., 2018). En effet, le format des tournois de badminton à élimination directe entraînerait des échanges plus longs ainsi qu'une intensité plus importante qui augmenterait au fur et à mesure que l'enjeu grandit (du premier tour jusqu'à la finale). Les demandes physiologiques nécessaires pour atteindre le tour suivant contraindraient les badistes, lors de l'entre-point, à prendre plus de temps pour récupérer des efforts fournis et de la fatigue qui s'installe progressivement. Nous pensons également, comme Laffaye et al. (2015), que l'aspect métabolique de la récupération n'est pas la seule explication de l'augmentation des temps d'entre-point. La fonction tactique et stratégique de l'entre-point nous semble être importante et complémentaire à la fonction physiologique de récupération. Le point se terminant, on observe fréquemment que les badistes se dirigent (depuis le changement de règlement en 2006, autorisant le coaching entre les points) vers leur entraîneur pour pouvoir échanger. Prendre plus

de temps entre les échanges pour récupérer et recevoir des conseils et des encouragements de son entraîneur, permettrait potentiellement aux badistes de pouvoir reproduire une performance optimale à chaque échange.

Notre étude possède quelques limites. Premièrement, la limite majeure est la non prise en compte du contexte global de chaque match ce qui limite les interprétations possibles. La réalisation d'une analyse groupée des matchs aurait potentiellement oblitéré des différences significatives au sein des matchs. Une analyse plus contextuelle pourrait permettre d'être plus précis et de comprendre en détails les fluctuations du temps d'entre-point chez les badistes de haut niveau. Deuxièmement, il serait aussi intéressant de prendre en compte l'analyse de la séquence de frappes menant à la domination du rapport de force. D'un point de vue tactique, cela permettrait de comprendre et d'identifier les schémas permettant aux badistes de prendre l'avantage sur le rapport de force. Nous aurions ainsi potentiellement une meilleure compréhension du jeu des badistes de haut niveau réussissant à créer des décalages et prendre l'ascendant sur le rapport de force.

Bibliographie

- Abián-Vicén, J., Del Coso, J., González-Millán, C., Salinero, JJ., & Abián, P. (2012). Analysis of dehydration and strength in elite badminton players. *PloS One*, 7(5), e37821. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037821>
- Alder, DB., Broadbent, DP., Stead, J., & Poolton, J. (2019). The impact of physiological load on anticipation skills in badminton: from testing to training. *Journal of Sports Sciences*, 37(16), 1816-1823. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1596051>
- Barry, BK., & Enoka, RM. (2007). The neurobiology of muscle fatigue: 15 years later. *Integrative and Comparative Biology*, 47(4), 465-473. <https://doi.org/10.1093/icb/icm047>
- Boksem, MAS., & Tops, M. (2008). Mental fatigue: Costs and benefits. *Brain Research Reviews*, 59(1), 125-139. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2008.07.001>
- Boyas, S., & Guével, A. (2011). Neuromuscular fatigue in healthy muscle: underlying factors and adaptation mechanisms. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 54(2), 88-108. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2011.01.001>
- Cabello Manrique, D., & González-Badillo, JJ. (2003). Analysis of the characteristics of competitive badminton. *British Journal of Sports Medicine*, 37(1), 62-66. <https://doi.org/10.1136/bjism.37.1.62>
- Chiminazzo, J., Barreira, J. Luz, LSM., & Saraiva, SC., (2018) Technical and timing characteristics of badminton men's single: comparison between group stages and play-offs stages in 2016 Rio Olympic Games. *International Journal of Performance Analysis in Sport*. 18(2), 1-10. <https://doi.org/10.1080/24748668.2018.1463785>

- Elliott, D. Grierson, EML., Hayes, JS., & Lyons, J. (2010). Action representations in perception, motor control and learning: implications for medical education. *Medical Education / Volume 45*, 119-131
- Enoka, RM., & Stuart DG., (1992). Neurobiology of muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 72, 1631-1648.
- Enoka, RM., & Duchateau, J. (2016). Translating fatigue to human performance. *Medicine & Sciences in Sports & Exercise*, 48(11), 2228-2238.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000929>
- Fahimi, F., & Vaezmousavi, M. (2011). Physiological patterning of badminton serve: a psychophysiological perspective to vigilance and arousal. *World Applied Science Journal*. 12, 347-353.
- Faude, O., Meyer, T., Rosenberger, F., Fries, M., Huber, G., & Kindermann, W. (2007). Physiological characteristics of badminton match play. *European Journal of Applied Physiology*, 100(4), 479-485. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0441-8>
- Fowles, JR., Green, HJ., Tupling, R., O'Brien, S., & Roy, BD. (2002). Human neuromuscular fatigue is associated with altered $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ activity following isometric exercise. *Journal of Applied Physiology*, 92(4), 1585-1593.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00668.2001>
- Gandevia, SC. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 81(4), 1725-1789. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.4.1725>
- Girard, O., Bishop, D., & Mendez-Villanueva, A. (2011). Repeated-sprint ability—Part I: factors contributing to fatigue. *Sports Medicine*, 41(8), 673-694.
<https://doi.org/10.2165/11590550-000000000-00000>

- Gomez, M. A., Leicht, AS., Rivas, F., & Furley, P. (2020). Long rallies and next rally performances in elite men's and women's badminton. *PloS One*, *15*(3), e0229604. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229604>
- Gomez, MA., Rivas, F., Leicht, A., & Connor, J. (2019). Performance Differences of Temporal Parameters and Point Outcome Between Elite Men's and Women's Badminton Players According to Match-Related Contexts. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *15*(21), 4057. <https://doi.org/10.3390/ijerph16214057>
- Kent-Braun, JA. (1999). Central and peripheral contributions to muscle fatigue in humans during sustained maximal effort. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *80*(1), 57-63. <https://doi.org/10.1007/s004210050558>
- Koral, J., Oranchuk, DJ., Millet, GY., & Herrera, R. (2018). Six Sessions of Sprint Interval Training Improves Running Performance in Trained Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *32*(3), 617-623. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002286>
- Kwan, M., Andersen, M., de Zee, M., Rasmussen, J., & Estivalet, M. (2009). *The Engineering of Sport 7*. (1ère ed., vol.2). Springer
- Laffaye, G., Phomsoupha, M., & Dor, F. (2015). Changes in the Game Characteristics of a Badminton Match: A Longitudinal Study through the Olympic Game Finals Analysis in Men's Singles. *Journal of Sports Science & Medicine*, *14*(3), 584-590.
- Le Mansec, Y., Pageaux, B., Nordez, A., Dorel, S., & Jubeau, M. (2018). Mental fatigue alters the speed and the accuracy of the ball in table tennis. *Journal of Sports Sciences*. *36*(23), 2751-2759. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.14118647>
- Lepers, R., Maffiuletti, NA., & Millet, G. (2004). Étiologie et cinétique d'apparition de la fatigue neuromusculaire lors d'exercices prolongés de cyclisme. *Movement Sport Sciences*, *52*(2), 83-107.

- Liu, H., Leng, B., Li, Q., Liu, Y., Bao, D., & Cui, Y. (2021). The Effect of Eight-Week Sprint Interval Training on Aerobic Performance of Elite Badminton Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 18(2), 638. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020638>
- Löscher, WN., Cresswell, AG., & Thorstensson, A. (1996). Central fatigue during a long-lasting submaximal contraction of the triceps surae. *Experimental Brain Research*. 108(2), 305-314. <https://doi.org/10.1007/BF00228103>
- Marcora, SM., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology*. 106(3), 857-864. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91324.2008>
- Morana, C., & Perrey, S., (2009). *Evaluation de la fatigue musculaire*. 39^{ème} Congrès national de la SFMKS, Palavas-les-Flots. https://www.researchgate.net/publication/266490560_Evaluation_de_la_fatigue_musculaire
- Pageaux, B., & Lepers, R. (2018). The effects of mental fatigue on sport-related performance. *Brain Research Reviews*, 240, 291-315. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.10.004>
- Phomsoupha, M. (2016). *Déterminants biomécaniques, physiologique et modélisation physique de la performance en badminton* [thèse de doctorat, université Paris-Saclay]. Thèses.fr. <https://www.theses.fr/2016SACLS521>
- Schillings, ML., Hoefsloot, W., Stegeman, DF., & Zwarts, MJ. (2003). Relative contributions of central and peripheral factors to fatigue during a maximal sustained effort. *European Journal of Applied Physiology*, 90(5-6), 562-568. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0913-4>
- Schmidt, RA., & Wrisberg, CA. (1993). *Apprentissage Moteur et Performance* (1^{ère} édition. vol. 1). Vigot.

- Smith, MR., Coutts, AJ., Merlini, M., Deprez, D., Lenoir, M., & Marcora, SM. (2016). Mental Fatigue Impairs Soccer-Specific Physical and Technical Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(2), 267-276. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000762>
- Søgaard, K., Gandevia, SC., Todd, G., Petersen, NT., & Taylor, JL. (2006). The effect of sustained low-intensity contractions on supraspinal fatigue in human elbow flexor muscles. *The Journal of Physiology*, 573(Pt 2), 511-523. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.103598>
- Treymane, P., & Barry, RJ. (2001) Elite pistol shooters: physiological patterning of best vs. worst shots. *International Journal of Psychophysiology*, 41(1), 19-29. [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(00\)00175-6](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(00)00175-6)
- Tong, YM., & Hong, Y. (2000). The playing pattern of world's top single badminton players. *ISBS - Conference Proceedings Archive*. <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/2234>
- Valero-Cabré, A., Pascual-Leone, A., & Coubard, OA. (2011). La stimulation magnétique transcrânienne (SMT) dans la recherche fondamentale et clinique en neuroscience. *Revue neurologique*, 167(4), 291-316. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2010.10.013>
- Van Cutsem, J., De Pauw, K., Vandervaeren, C., Marcora, S., Meeusen, R., & Roelands, B. (2019). Mental fatigue impairs visuomotor response time in badminton players and controls. *Psychology of Sport and Exercise*, Volume 45. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2019.101579>
- Zhang, Z., Li, S., Wan, B., Visentin, P., Jiang, Q., Dyck, M., Li, H., & Shan, G. (2016). The Influence of X-Factor (Trunk Rotation) and Experience on the Quality of the Badminton Forehand Smash. *Journal of Human Kinetics*, 53, 9-22. <https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0006>

Annexe

Annexe 1 : La notion de prise d'information en badminton – revue de littérature

Au regard des caractéristiques de l'activité, le badminton est un sport qui nécessite de traiter beaucoup d'informations. Le traitement de l'information provenant de stimuli internes et externes permettront au badiste de planifier une réponse motrice en adéquation avec la situation. Le système de traitement de l'information du badiste de haut niveau est caractéristique de son expertise et de sa maîtrise de la pratique. Schmidt (1993) postule que le traitement de l'information se fait en plusieurs étapes : il a appelé cela la théorie de l'apprentissage et du contrôle moteur. Suite à l'analyse et au traitement des différentes étapes, l'individu décidera ou non de générer une réponse qu'il aura identifiée comme efficace face à la situation.

Le modèle ci-dessous (voir Figure 1) est constitué de quatorze étapes de traitement d'informations que nous pouvons séparer en trois parties distinctes. La première partie comprend les étapes une à sept. Le temps nécessaire pour passer des étapes une à sept est appelé le temps de réaction. Le temps de réaction dépend directement de la tâche à effectuer, de l'environnement, et du niveau de compétence de la personne. De plus, selon la loi de Hick (ou loi de Hich-Hyman), il existe une relation proportionnelle entre la durée du temps de réaction et le nombre de choix disponibles.

Ces sept premières étapes décrivent comment nous :

- Identifions l'information en rapport avec le stimulus
- Sélectionnons le programme nécessaire à la réalisation de l'action
- Programmons l'action

Ces trois étapes sont influencées par :

- Les informations que nous avons en mémoire (4)
- Nos programmes moteurs (5). Un programme moteur est une représentation abstraite qui lorsqu'elle est initiée résulte en la production d'un mouvement coordonné (Schmidt & Lee, 2005 p.466). Une représentation est un terme utilisé pour décrire une structure interne contenant de l'information (e.g. sensorielle, motrice, cognitive) sur un acte externe. Cette représentation est stockée au niveau cortical et sous-cortical spécifiant au système nerveux central comment réaliser l'acte.

- Les étapes six et sept correspondent au temps qu'il faut pour les commandes motrices de descendre la moelle épinière jusqu'aux muscles.

Les étapes huit à douze correspondent à des boucles feedbacks influençant le mouvement en cours. Les boucles M1 (monosynaptic) et M2 sont inconscientes car trop rapides (30-50ms et 50-80ms). La boucles M3 ou « triggered reaction » (TR), a une latence de 80 à 120ms et correspond aux informations traitées lorsque nous exécutons un mouvement ou agissons contre un objet dans un environnement. Cette boucle M3 est la plus longue et demande de la perception consciente, de l'attention sur ce que nous ressentons, entendons, voyons. La latence de la boucle M3 dépend donc directement de la qualité du système sensoriel.

Les événements treize et quatorze correspondent aux feedbacks extérieurs, rangés en deux catégories :

- Connaissance du résultat : au badminton, cela se caractérise par le fait de réussir à frapper ou non le volant ainsi que la trajectoire et le placement donné au volant.
- Connaissance de la performance : en rapport avec la forme et la technique (à quel endroit du tamis (= le cadre) le volant a-t-il été tapé, l'orientation du tamis au moment de l'impact...). Souvent, la connaissance de la performance est généralement relayée par le coach à l'athlète grâce à son point de vue externe. Le niveau de maîtrise de l'activité de l'athlète lui permettra aussi de se baser sur ses ressentis pour améliorer l'exécution du futur mouvement.

L'ensemble de ces étapes mènent donc à la réalisation et l'exécution (ou non) d'une réponse motrice par le badiste. L'exécution du mouvement permettra de vérifier son exactitude ainsi que d'obtenir de nombreuses informations sur cette exécution grâce aux boucles feedbacks. Ce type de système de contrôle est appelé système de contrôle en boucle fermée. Ce système est dit en boucle fermée parce que l'ensemble des différents éléments fonctionnent grâce à des informations sensorielles (ou feedback) formant un mécanisme de régulation jusqu'à parvenir à l'objectif prévu.

Selon Schmidt (1993), le système de contrôle en boucle fermée comporte 4 éléments distincts :

- Un agent exécutif qui prend les décisions à propos des erreurs
- Un système effecteur qui exécute les décisions

- Une référence stockée en mémoire pour comparer le mouvement produit pour déterminer une erreur
- Un signal d'erreur

Cela permettra de comparer l'écart entre la réponse produite avec la réponse attendue au départ et ainsi de corriger et réguler l'exécution du mouvement futur. Ainsi, une exposition fréquente à un même stimulus améliorerait la capacité visuomotrice de l'individu. Il serait capable de percevoir les informations plus rapidement tout en améliorant la qualité de l'exécution de la réponse.

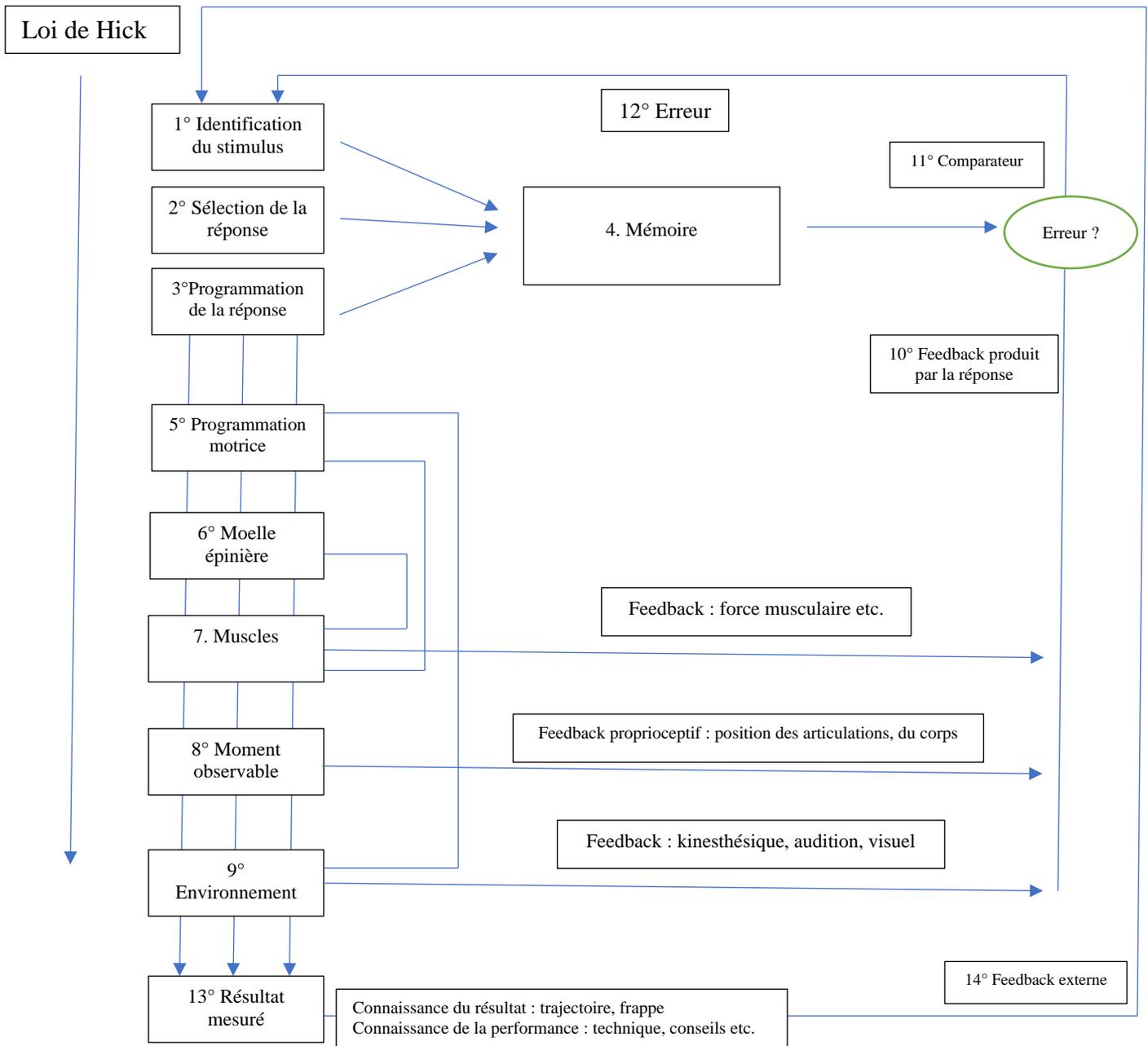


Figure 3: Différentes étapes du traitement de l'information selon Schmidt modifié et emprunté à Joan Vickers

Le modèle de Schmidt met en évidence les processus du traitement de l'information connu sous le terme de temps de réaction (étape 1 à 7). Le temps de réaction correspond à l'ensemble des étapes allant de la perception d'un stimulus jusqu'au moment où la réponse va être initiée par l'individu. Les informations et leur traitement par l'individu sont ainsi le support permettant de produire la réponse. Ce temps de réaction peut être plus ou moins long en fonction de la capacité

de l'individu à traiter les informations mais aussi de l'environnement dans lequel il se trouve. Plus cet environnement est incertain et plus les informations sont nombreuses à traiter, plus ce temps de réaction va être long. Au contraire, plus l'environnement est contrôlé et moins les informations à traiter sont nombreuses, plus le temps de réaction va être court. C'est ce que l'on appelle respectivement le temps de réaction de choix (TR de choix) et le temps de réaction simple (TR simple). Le TR simple est plus court car une seule réponse est possible et connue à l'avance par l'individu suite à l'apparition d'un seul stimulus. Un exemple de TR simple serait d'appuyer sur une touche de clavier d'ordinateur dès qu'un stimulus lumineux apparaît à l'écran. L'ordre de grandeur de ce TR simple est de 160ms. Le TR de choix est lui plus long car chaque réponse possible correspond à l'apparition de stimulus différent. Un exemple de TR de choix serait d'appuyer sur une touche se situant du même côté que le stimulus lumineux apparu à l'écran (dans le cadre ou le stimulus peut apparaître à gauche et à droite de l'écran). Il est de l'ordre de 200 à 280ms.

Les ordres de grandeurs précédents correspondent aux temps de réaction lorsque l'individu effectue la tâche peu de fois. La notion de fatigue, caractéristique fondamentale du sport de haut niveau, est présente dans la grande majorité des activités. La fatigue peut venir allonger le temps de réaction des sportifs. En effet, nous savons aujourd'hui que la fatigue a un impact négatif sur la performance (voir Annexe pour complément d'informations). Cette fatigue peut être mentale ou neuromusculaire. L'impact négatif de la fatigue sur le traitement de l'information peut notamment être observé à travers une perte de lucidité. Cette perte de lucidité entraverait la prise d'information du sportif sur les indicateurs pertinents de la performance dans sa pratique. Le traitement de l'information sera lui aussi plus long et moins efficace. Le temps de réaction sera donc plus long. Deux options pourront alors s'offrir aux sportifs atteints par la fatigue suite à un stimulus : prendre une décision rapidement basée sur très peu d'informations traitées, ou prendre plus de temps pour s'informer sur les indicateurs pertinents et être sûr d'avoir une réponse efficace. Dans le premier cas, le temps de réaction sera court mais la réponse ne sera pas adéquate et efficace (sauf s'il a de la chance) car peu d'informations ont été traitées. Dans le second cas, le temps de réaction sera trop long et ne permettra pas au sportif de répondre à temps au stimulus. C'est ce que l'on appelle le complexe de Fitts. Selon lui, plus le temps de réaction sera long, plus précise et adéquate sera la réponse. Au contraire, plus le temps de réaction sera court, moins la réponse sera précise et adéquate. Le sportif doit donc trouver le compromis qui lui semble idéal pour pallier aux effets négatifs de la fatigue sur sa performance.

Au badminton, les stimuli sont nombreux et la fatigue est importante. Le badiste évolue dans un environnement incertain et changeant l'obligeant à traiter et analyser les incertitudes du milieu sous pression temporelle (liée à la vitesse du volant et la vitesse de déplacement de l'adversaire). Cet environnement est contraignant pour le badiste et l'oblige à trouver son propre compromis idéal entre la vitesse de la réponse motrice et l'exactitude de la réponse motrice. Ce compromis sera d'autant plus important quand le phénomène de fatigue apparaîtra. Le badiste doit s'informer sur sa position et celle de son adversaire dans le terrain, les limites du terrain, la trajectoire du volant (vitesse, hauteur, profondeur), le placement de l'adversaire, la hauteur du filet par rapport à celle du volant. Pour être extrêmement performant en badminton, il faudrait réussir à s'informer en plus sur la position des pieds du badiste adverse, l'orientation de sa raquette au moment de l'impact, le positionnement de la raquette en position de défense et bien d'autres. Ainsi, plus le niveau du badiste et son expertise seront importantes, plus la prise d'information sera précise. Une bonne prise d'information sur ces éléments lui permettra d'anticiper la réponse de son adversaire. Le badminton est une activité d'anticipation-réaction où la capacité à traiter des informations sur des indicateurs pertinents (appelés incertitudes) est un des problèmes fondamentaux de la pratique. Le badiste qui réussit à anticiper et réagir au mieux aux coups de son adversaire prend un avantage considérable sur le rapport de force. Pour cela, il existe trois types d'incertitudes au badminton (Bertrand Gallet, 1998) :

- Les incertitudes événementielles : quel événement va se produire ? Ce sont les différents coups possibles que l'adversaire peut réaliser. En badminton, il existe 3 grandes familles de coups (1) les coups d'attaque : souvent caractérisés par une trajectoire tendue ou descendante avec une intention de vitesse importante (smash, stick, drive, dégagement tendu...) ; (2) les coups de défense permettant de répondre aux attaques (défense courte, longue, tendue...) ; (3) les coups de « construction » permettant de faire déplacer son adversaire sans prendre de risque en attendant une opportunité d'attaque (dégagement, amorti, contre-amorti...). En fonction de l'intensité, de l'intention mise dans le coup et du contexte, certains coups peuvent appartenir à plusieurs familles (un slice peut être un coup d'attaque comme un coup de construction par exemple)
- Les incertitudes temporelles : quand l'évènement va-t-il se produire ? En badminton, ces incertitudes sont liées principalement à la vitesse du volant mais aussi à la vitesse de déplacement des badistes.

- Les incertitudes spatiales : où se produira l'évènement ? En badminton, ces incertitudes sont liées aux placements des badistes sur le terrain et aux zones libres de jeu.

La fatigue ayant un impact négatif sur la performance du badiste, il est possible qu'elle vienne le perturber dans sa prise d'information sur les incertitudes du milieu. Sa prise d'information, son traitement, sa prise de décision et potentiellement l'exécution de la réponse vont donc eux aussi être perturbés. Finalement, c'est la performance du badiste qui s'en retrouve affecté. Cependant, la rapidité du jeu, des déplacements et la vitesse du volant seront toujours identiques. Le badiste fera donc face au conflit mis en évidence par Fitts à travers sa loi de vitesse-précision.

Pour pallier à ces efforts intensifs ainsi qu'à la rapidité du jeu, les points sont entrecoupés par des temps d'entre-point ayant pour rôle principal de permettre aux sportifs de récupérer. Pour essayer de comprendre en quoi cette dimension temporelle pourrait être un facteur de performance, nous allons développer les rôles des entre-points en badminton de haut niveau.

Annexe 2 : La notion complexe de fatigue – revue de littérature

Le concept de fatigue remonte aux années 1890, où Angelo Mosso invente un outil appelé ergographe, capable de mesurer le travail musculaire. Son outil permet de transformer la tension mécanique de la flexion des doigts (un doigt à la fois) en un graphique retraçant l'amplitude du mouvement. Son appareil ne prend donc en compte que 2 valeurs : la force et l'endurance de cette force. Il définit alors la fatigue comme un symptôme impactant négativement la performance, dans lequel les fonctions physiques et cognitives sont limitées par les interactions entre la fatigabilité de la tâche et la fatigabilité du rendement. Selon Barry et Enoka (2007), Il faudra attendre les années 1980-90 pour que la recherche s'intéresse plus en profondeur sur le sujet de la fatigue (Londres 1980, Paris 1990, Amsterdam 1992, Miami 1994). Cependant, à l'époque, le concept de fatigue ne se rapporte qu'à la fatigue musculaire, les scientifiques n'arrivant pas à trouver de consensus sur la définition. Edwards en 1981, propose une définition de la fatigue comme étant une incapacité à maintenir un niveau de force attendu, mettant en lumière la fatigue neuromusculaire. Bigland-Ritchie et al. (1984), ont affiné la définition de la fatigue, la présentant comme une réduction du niveau de force dû à la prolongation sur le temps de l'activité, menant à la définition de fatigue comme étant une réduction de la capacité du système neuromusculaire à générer de la force durant une activité soutenue. A l'époque, la fatigue était donc définie comme la diminution de la force maximale de contraction isométrique. Cette définition ne prenait pas en compte les modifications corporelles lors du mouvement ni les sensations de fatigue accompagnant les contractions. En effet, lors de la réalisation d'un effort la fatigue se fait ressentir d'un point de vue externe, avec l'incapacité de continuer à soulever une charge donnée, mais aussi d'un point de vue interne, en rapport avec toutes les sensations musculaires et les pensées accompagnant cette fatigue.

Ainsi, Enoka et Stuart (1992), proposent leur définition de la fatigue comme une « déficience aigüe du rendement », comprenant à la fois une augmentation de l'effort perçu pour exercer une force suffisante, et une incapacité éventuelle de produire cette force. Selon Enoka et Duchateau (2016), l'intérêt de la science et de la recherche pour la fatigue a considérablement évolué ces dernières années, en témoigne les nombreuses présentations sur le sujet au 2015 Annual Meeting of the American College of Sports Medicine. Cependant, les effets de la fatigue sur la performance sont étonnamment compliqués à démontrer. Selon, Enoka et Duchateau

(2016), ce dilemme à deux raisons majeures : l'incapacité de la recherche actuelle de tenir compte des conditions attribuées à la fatigue, et un manque de modèles expérimentaux valides. Les définitions actuelles de la fatigue sont proches de celle évoquées par Enoka et Stuart en 1992. Lepers et al. (2004), définissent la fatigue comme un phénomène évolutif transformant progressivement l'état fonctionnel du corps, l'épuisement étant le point d'arrêt de l'exercice. Elle correspond en de termes plus simples, à une incapacité d'un individu à produire une force maximale volontaire. C'est un processus progressif qui se développe tout au long de l'exercice, lorsqu'une certaine intensité est conservée, lorsque le sportif fournit toujours un certain niveau de force. Dans le sport, l'importance de l'optimisation des composants fatigue-récupération est capital pour faire progresser les athlètes. Une récupération efficace suite à des charges d'entraînements intensives auxquelles font face les athlètes déterminent souvent la réussite ou l'échec (Lepers et al., 2004). Il apparaît donc fondamental de comprendre les mécanismes sous-jacents de la fatigue, pour la gérer au mieux, et faire performer ses athlètes de manière durable. Elle peut avoir plusieurs origines : centrale, périphérique, mentale, que nous allons tous détailler dans un contexte sportif. Ces trois types de fatigue sont indissociables au cours d'un effort prolongé tel qu'un match de badminton. En effet, un match de badminton dure en moyenne de 40 minutes à 1 heure (Abián-Vicén et al., 2012) et est énergétiquement très demandant. De la fatigue va donc s'installer au cours du match, cependant il est aujourd'hui impossible de dissocier fatigue mentale, centrale-périphérique (appelée fatigue neuromusculaire). Nous allons essayer de vous expliquer les différents types de fatigue et leurs effets sur la performance lors d'un match de badminton.

La fatigue neuromusculaire

Bigland-Ritchie et al. (1984), définissent la fatigue neuromusculaire comme « toute diminution induite par l'exercice, de la capacité du muscle à développer une force ou une puissance, que la tâche puisse être maintenue ou non ». La fatigue neuromusculaire est dépendante de deux types de fatigue corrélées l'une à l'autre : la fatigue centrale et périphérique. Pendant l'exercice, l'incapacité à maintenir la force maximale initiale dépend de la fatigue périphérique qui se produit à un niveau plus ou moins proche de la jonction neuromusculaire, et de la fatigue centrale résultant d'une incapacité à activer volontairement le muscle (Gandevia, 2001). La fatigue périphérique est une altération des mécanismes d'excitation-contraction. Il apparaîtrait qu'une perturbation des déplacements des ions calcium (agissant dans le cycle de contraction au sein du muscle), une accumulation de métabolites au niveau de la jonction neuromusculaire, une baisse des réserves d'adénosine tri-phosphate (ATP), et une déplétion glycogénique soit responsable de la fatigue périphérique. En effet, lors de l'étude de Morana & Perrey (2009), l'excitabilité de la membrane (le calcium étant l'acteur principal de cette excitabilité) était altérée lors de situation de fatigue, se traduisant par un ralentissement de la vitesse de conduction, par une moins bonne efficacité de la transmission des potentiels d'action (PA), ou par une réduction de l'amplitude du PA propre à chaque fibre musculaire. Ce ralentissement était dû à un fonctionnement insuffisant des pompes sodium-potassium ($\text{Na}^+ - \text{K}^+$) qui ne régulaient plus les augmentations de K^+ extracellulaire et de Na^+ intracellulaire induites par l'exercice intense (Fowles et al., 2002).

Quant à la fatigue centrale, elle est majoritaire pour les exercices de faible intensité et de longue durée impliquerait une baisse de la commande centrale (cortex moteur, motoneurone) influencée par l'activité des neurotransmetteurs cérébraux et les afférences musculaires. Ainsi, la fatigue centrale (désigne une baisse de l'activation volontaire (nombre et fréquence de décharge des unités motrices) du muscle et de la fatigue périphérique, une baisse de la force contractile des fibres musculaires et des mécanismes de transmission des potentiels d'action musculaires. Fatigue centrale et périphérique sont intimement liées. Si l'une est principalement dû à une baisse de l'activation des motoneurones, l'autre est dû à des altérations des mécanismes du couplage excitation-contraction. Cependant, c'est au sein des muscles que se trouvent des organes afférents responsables de l'envoi de feedbacks au Système Nerveux Central (SNC).

Selon Enoka et Stuart (1992), la fatigue est un phénomène complexe et multifactoriel dont les mécanismes sont influencés par les caractéristiques de la tâche réalisée (durée de l'exercice, type, vitesse et le temps de maintien de la contraction). L'avantage de ses mécanismes est que lorsqu'un ou plusieurs chercheurs souhaitent réaliser une étude sur un type de fatigue en particulier, les variables sont facilement modifiables pour cibler l'étude (en fonction de la demande d'un entraîneur d'un sport par exemple).

Boyas et Guével (2011), retracent à travers un schéma (voir Figure 3) l'ensemble des sites pouvant être à l'origine de la baisse de production de force. La diminution peut provenir de :

- 1) L'activation de l'aire primaire du cortex moteur
- 2) Du cheminement de la commande du système nerveux central (SNC) vers les motoneurones (voies pyramidales)
- 3) L'activation des Unités Motrices (UM) et des muscles
- 4) De la propagation de l'influx nerveux (incluant la Jonction Neuromusculaire)
- 5) Du couplage excitation-contraction
- 6) De la disponibilité des substrats métaboliques
- 7) Du milieu intracellulaire
- 8) De l'appareil contractile
- 9) Du flux sanguin

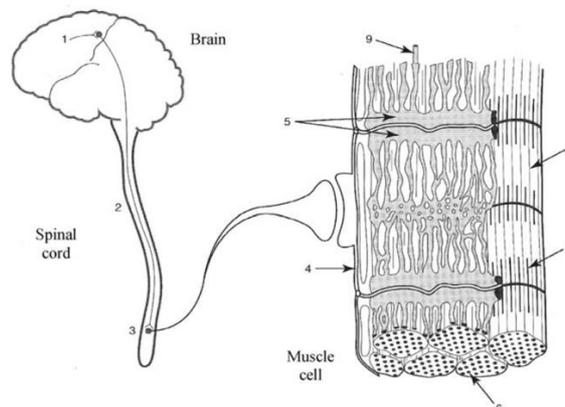


Figure 2: Ensemble des éléments constituant la fatigue neuromusculaire

Sur ce schéma (emprunté à Boyas et Guével) nous voyons bien les deux parties distinctes de la fatigue : la fatigue centrale (1 à 3) et la fatigue périphérique (4 à 9).

Du côté pratique, Löscher et al. (1996), ont rapporté la présence d'une fatigue centrale lors d'une contraction isométrique des fléchisseurs plantaires de 30% de la Contraction Volontaire Maximale (CVM). Grâce à la stimulation électrique, Kent-Braun (1999) et Schillings et al., (2003), ont respectivement estimé à 20% et à 12% la part de la fatigue centrale dans la perte de force lors d'une CVM isométrique des muscles responsables de la dorsiflexion de la cheville, et des fléchisseurs du bras.

Le protocole habituel pour évaluer la fatigue centrale se fait à l'aide d'une stimulation électrique musculaire (où du motoneurone principal relié au muscle) et d'une électromyographie (EMG). Le test classique est un test de contraction volontaire maximale (MVC) d'un muscle sur un temps prolongé. Par exemple dans l'étude de Sogaard et al. (2006), la stimulation électrique était placée soit au niveau du biceps brachial directement, ou, au niveau du motoneurone du biceps brachial. L'évaluation de la fatigue centrale peut aussi se faire à travers la stimulation magnétique transcrânienne (SMT). La SMT est une technique non invasive locale. Elle fonctionne grâce à des courants électriques que l'on vient appliquer au niveau de différentes régions corticales, « modulant ainsi leur niveau d'activité de façon variable suivant la fréquence, le nombre d'impulsion, les intervalles et la durée de stimulation utilisée », (Valero-Cabré et al., 2011)

La fatigue mentale

La fatigue mentale est définie comme un état psychobiologique causé par des périodes prolongées d'activité cognitive exigeante. Contrairement à la fatigue neuromusculaire, la fatigue mentale n'est pas liée à un aspect physiologique mais à une composante psychomotivationale. Nous pouvons détecter l'apparition de la fatigue mentale chez un athlète lorsqu'un effort imposé est perçu plus difficile que ce qu'il n'est réellement. Cette fatigue mentale rend la perception du niveau de la tâche plus dure que son niveau réel. D'autres symptômes de fatigue mentale peuvent aussi être liés à la diminution du temps de réaction ou à la baisse de la capacité à focaliser son attention sur des indicateurs pertinents (Boksem & Tops, 2008).

Marcora et al. (2009), ont sélectionné 16 personnes pour réaliser une étude. Ils les ont placés sur un ergomètre et les ont fait pédaler à 80% de leur puissance maximale jusqu'à l'épuisement. Ces 16 individus étaient divisés en 2 groupes, un groupe qui avait effectué une tâche cognitive importante de 90 minutes avant l'exercice, et l'autre groupe qui avait regardé un documentaire neutre. Les individus ayant effectués la tâche cognitive se sont désengagés de l'activité plus tôt que le groupe contrôle. Marcora et al. (2009), ont expliqué que la fatigue mentale limite la performance en augmentant la perception du niveau de difficulté de la tâche, sans lien apparent avec les mécanismes cardiovasculaires ou respiratoires. Ils ont aussi conclu que ce désengagement de la tâche est volontaire et que des personnes ayant une grande motivation résisteraient plus longtemps. Ils montrent aussi que la fatigue mentale serait plus présente et marquée dans des activités de longues durées, dû à la composante motivationnelle qui diminuerait tout au long de l'activité.

De surcroît, Smith et al. (2016), ont montré que la fatigue mentale peut altérer de nombreuses habiletés visuomotrices propres à la discipline. Ces résultats sont confirmés par l'étude sur la vitesse et la précision des frappes de pongistes par Le Mansec et al. (2018). La vitesse et la précision de la balle en tennis de table et en football après avoir effectué une tâche mentalement fatigante, affectait négativement la performance des athlètes. Le Mansec et al. (2018), ont aussi montré que le niveau d'entraînement des sportifs (de niveau moyen à élite) ne permet pas d'effacer la fatigue mentale. Cependant, il apparaîtrait que le niveau de pratique et d'expertise dans un domaine ait un impact positif sur la fatigue mentale. Martin et al. (2016), réalise une étude sur des cyclistes professionnels et amateurs. Après avoir effectué un protocole censé provoquer l'apparition de la fatigue mentale (Stroop Task), ils faisaient pédaler les sujets pendant 20 minutes. Ils ont montré que les cyclistes professionnelles obtiennent de meilleurs

résultats lors du protocole de fatigue mentale et ont en plus montré une meilleure résistance à cette fatigue durant l'effort, contrairement aux cyclistes amateurs. Ils en ont conclu que ces facteurs pourraient être d'ordre génétique, où liés à l'entraînement de ces athlètes.

En badminton, une étude a été réalisée par Van Cutsem et al. (2019) ayant pour but d'évaluer si les joueurs de badminton avaient des fonctions exécutives supérieures sur une tâche visuomotrice et s'ils étaient plus résistants à la fatigue mentale que des badistes novices. Lors de leur étude, ils ont sélectionné 10 joueurs de badminton de niveaux international ou national, et 12 sujets en bonne santé, n'ayant pas fait d'activité physique dans les 5 ans précédents l'étude. Les chercheurs mettaient en place un protocole où les individus devaient effectuer une tâche visuomotrice de 7 minutes, un Flanker Task test, suivi d'un Stroop Task test de 90 minutes (protocole de fatigue mentale), où regarder un documentaire émotionnellement neutre (groupe contrôle). Immédiatement après le protocole de fatigue mentale où la vision du documentaire, les individus devaient re-effectuer la tâche visuomotrice et le Flanker Task test, pour évaluer les potentiels impacts de cette fatigue. Leur hypothèse était que la fatigue mentale nuirait au rendement de la tâche visuomotrice pour le groupe contrôle, tandis que les joueurs de badminton manifesteraient une plus grande résistance et seraient moins affectés par la fatigue mentale. De plus, ils s'attendaient à ce que les joueurs de badminton obtiennent de meilleurs résultats sur la tâche visuomotrice. Leurs résultats principaux sont que : les joueurs de badminton ont montré une performance visuomotrice supérieure au groupe contrôle, la fatigue mentale diminue la performance visuomotrice du groupe contrôle comme du groupe de badistes, un effort mental plus important a été observé dans le groupe des badistes que dans le groupe contrôle lors du protocole de fatigue mentale, confirmant que le Stroop Task était plus exigeante mentalement que le documentaire. Les capacités cognitives ont aussi été négativement impactées par la fatigue mentale lors du second Flanker Task test. En effet, les 2 groupes ont en moyenne mis 7% plus de temps à répondre que lors de la première exécution. Le temps de réaction se trouve donc négativement impacté par la fatigue mentale.

Au cours du match de badminton, la fatigue qu'elle soit mentale ou neuromusculaire vient donc négativement impacter la performance du badiste, à travers les mécanismes que nous avons présentés précédemment. Le badiste risque donc de faire plus d'erreurs au fur et à mesure que le match se déroule. Les nombreuses erreurs qu'un badiste réalise peuvent entraîner de la frustration et augmenter la perte de lucidité à travers des réflexions négatives ou gestes d'humeurs entre les points. Une excellente gestion de son comportement et des entre-points

pourrait être un facteur de performance sous-estimé au badminton. Ce sujet n'ayant jamais été étudié.

Annexe 3 : Analyse Statistique Préliminaire

Le but de cette analyse statistique préliminaire était dans un premier temps de construire des tableaux récapitulatifs des temps d'entre-points en fonction des périodes et des résultats du point. Dans un second temps, les tableaux (voir Tableau 3) construits permettraient de comparer nos résultats avec ceux de Phomsoupha (2015) ainsi que de Gomez et al. (2019).

Durée (en s)
Moyenne entre-point Période 1
Moyenne entre-point Période 2
Moyenne entre-Point Période 3
Moyenne entre-point FD
Moyenne entre-point FP
Moyenne entre-point GP
Moyenne temps de match

Tableau 1: Tableau récapitulatif des temps moyens d'entre-points en fonction de la temporalité et de la finalité des échanges ainsi que le temps moyen de l'ensemble des matchs

Note : A. FD = Faute Directe

B. FP = Faute Provoquée

C. GP = Gain du Point

Initialement, dans le cadre du projet APID (Aide à la Prise de Décision et d'Information mené par Claire CALMELS et Yoann MORILLO, respectivement mes directeurs et tuteurs de stage), un tableau de bord statistiques devait être implémentés et crée dans l'application métavidéo. Cela permettait à l'équipe travaillant sur l'outil, d'avoir accès aux données statistiques de l'ensemble des matchs analysés. Des statistiques tels que le nombre de frappes, la répartition des coups ont été créés. Cependant, par faute de temps, aucune statistique en rapport avec les temps d'entre-point et d'échange n'ont pu être crée. Pour pallier à cela, nous avons donc demandé à la société Métavidéo, un export de la base de données (.csv), nous permettant de traiter l'ensemble des données à travers Excel dans un premier temps.

La base de données fournie était très volumineuse (+ de 30 000 lignes sur une trentaine de colonnes). Le premier travail était donc de trier et filtrer la base de données en fonction des données utiles (comme les time codes des frappes) et de supprimer les données parasites (l'ensemble des tags correspondant aux frappes de l'échange...). Après traitement, cela nous amène donc à une base de données comportant 4016 lignes pour 8 colonnes, ces colonnes étant :

- L'ID du match (permettant de savoir à quel match correspond les données)
- Les time codes (moment de la vidéo auquel le tag a été créé. Cela permet de calculer les temps d'échange et d'entre-point)
- Deux colonnes avec dans la première l'athlète effectuant la frappe et dans la seconde l'athlète recevant la frappe
- Une colonne avec la qualification de la frappe (dans notre cas, cela correspond à la mise en jeu, marquant le commencement de l'échange)
- Deux colonnes qualifiant la fin de l'échange (Coup Gagnant ou Fautes)
- Une colonne qualifiant le type de faute (Directe ou Provoqué)

Ces données obtenues et analysées pour vérifier qu'aucune erreur n'a été commise pendant l'analyse vidéo (tag qui aurait pu être créé en double), nous avons donc une base de données de 4016 lignes correspondant à un échantillon de 2008 échanges (2008 mises en jeu + 2008 fins de point). L'étape suivante était donc de calculer les **temps d'échanges et d'entre-point**. Pour cela, nous disposions des time codes en millisecondes que nous avons transformés en secondes pour une meilleure clarté de lecture. En faisant de simples soustractions du time code du tag correspondant à la fin de l'échange au tag du début de l'échange, nous obtenons le temps d'échange. Par exemple :

- Time code service : 780,1s (moment pendant le match où le service a été effectué)
- Time code fin du point : 800,1s (moment pendant le match où l'échange s'est terminé)
- $800,1 - 780,1 = 20s$, nous obtenons donc un temps d'échange de 20 secondes

En faisant la même soustraction entre le début de prochain point et la fin de l'échange ci-dessus nous obtenons le temps d'entre-point. Par exemple :

- Time code fin du point : 800,10s
- Time code service : 825,10s
- $825,10 - 800,10 = 25s$, nous obtenons donc un temps d'entre-point de 25 secondes

En automatisant cette opération pour l'ensemble des lignes, nous obtenons donc une colonne où s'enchaîne successivement les temps d'échange ainsi que les temps d'entre-point.

Pour finaliser l'analyse préliminaire, et pouvoir vérifier notre deuxième hypothèse³, il nous faut créer une case permettant de faire correspondre les times codes des matchs avec la Période du match (Période 1 – Période 2 – Période 3). Cela nous permettra de calculer la moyenne des temps d'entre-point en fonction de la période du match, et donc d'évaluer une tendance d'évolution de ces temps. Sur la photo ci-dessous, la période 1 a été remplacé par Période A pour éviter de confondre avec les autres chiffres 1 se trouvant dans les cellules adjacentes (Voir Tableau 2).

Nous obtenons ainsi une base de données traitées et prête à être analysée ressemblant au tableau ci-dessous.

Match	Timecode	Période	actAthle	advAthle	Point	Faute	Mise en j	Type de faute	Temps échangé
6	573,598	A	8	13			1		11,29
6	584,488	A	13	8		1		2	14,671
6	599,559	A	8	13			1		30,115
6	629,674	A	13	8	1				29,471
6	659,145	A	13	8			1		2,575
6	661,72	A	13	8	1				25,447
6	687,167	A	13	8			1		2,629
6	689,796	A	13	8	1				13,793
6	703,589	A	13	8			1		4,268
6	707,857	A	8	13	1				17,021
6	724,878	A	8	13			1		1,427
6	726,305	A	13	8		1			13,911
6	740,216	A	8	13			1		2,128
6	742,344	A	13	8	1				14,693
6	757,037	A	13	8			3		10,632
6	767,669	A	8	13		1			20,165
6	787,834	A	13	8			3		7,9
6	795,734	A	13	8		1		3	24,487
6	820,221	A	8	13			1		25,195
6	845,416	A	13	8		1		2	36,711
6	882,127	A	8	13			1		7,43
6	889,557	A	8	13		1			26,274
6	915,831	A	13	8			1		2,49
6	918,321	A	13	8		1			19,104
6	937,425	A	8	13			1		12,946
6	950,371	A	13	8	1				49,929
6	1000,3	A	13	8			1		7,661
6	1007,961	A	13	8	1				26,514
6	1034,475	A	13	8			1		12,551
6	1047,026	A	13	8		1			36,446
6	1083,472	A	8	13			1		4,691
6	1088,163	A	13	8		1			21,628
6	1109,791	A	8	13			1		7,419
6	1117,21	A	13	8		1		2	25,902
6	1143,112	A	8	13			1		2,399
6	1145,511	A	8	13		1			26,463
6	1171,974	A	13	8			1		3,134
6	1175,108	A	8	13		1			18,999
6	1194,107	A	13	8			1		5,831
6	1199,938	A	13	8	1				89,681
6	1289,619	A	13	8			1		4,131
6	1293,75	A	13	8		1		2	17,808
6	1311,558	A	8	13			1		3,204
6	1314,762	A	8	13		1		2	18,371
6	1333,133	A	13	8			1		13,28

Tableau 2 : Base de données Excel après traitement et application de mises en forme conditionnelle

³ Hypothèse N°2 : La deuxième hypothèse était que la gestion temporelle de l'entre-point évoluait au cours du match avec une augmentation du temps pris par les joueurs au fur et à mesure de l'avancement du match.

Une mise en forme conditionnelle a ensuite été appliquée aux différentes périodes ainsi qu'aux temps d'échange/d'entre-point et aux mises en jeu. En effet, pour pouvoir calculer la moyenne des temps d'entre-point de la manière la plus écologique possible sans interférer avec les temps d'échange, la mise en forme conditionnelle est la plus adaptée selon nous. À travers la fonction NO_COULEUR permettant d'avoir l'ID de la couleur rouge des cellules, nous pouvons utiliser la formule MOYENNE_SI_COULEUR pour calculer la moyenne de l'ensemble des cellules remplies en rouge par la mise en forme conditionnelle.

Comme vous pouvez l'observer sur la photo, une case est remplie en jaune. Après calcul de la moyenne des temps d'entre-point de l'ensemble des matchs, nous avons appliqués deux nouvelles règles de mise en forme conditionnelle. La première était que toutes les cellules contenant une valeur supérieure à 120s allaient alors se remplir en jaune. Puis la même règle a été appliquée aux cellules contenant des valeurs supérieures de 60s. Pour rappel, au badminton, nous avons des pauses de 120s entre les sets (pause de fin de set) ainsi que des pauses de « mi-set » de 60s (à chaque set) dès que le premier des deux joueurs (ou paires si nous parlons de double) a atteint 11 points. Cela nous permet donc dans un premier temps :

- De calculer les temps d'entre-point moyens avec les pauses de fin de set et de mi-set (TE Global)
- De calculer les temps d'entre-point moyens sans les pauses de fin de set (TE set)
- De calculer les temps d'entre-point moyens sans les pauses de fin de set et de mi-set (TE effectif)

Enfin, nous avons calculer les moyennes des temps d'entre-point en fonction de la finalité du point (pour rappel : Coup Gagnant – Faute Directe – Faute Provoquée). Après réflexion, la solution apparente comme la plus adaptée est la création d'une nouvelle colonne permettant la réalisation d'une nouvelle mise en forme conditionnelle. Dans cette nouvelle colonne, nous avons fait une somme de fonction « SI » résumé ci-dessous :

=SI(D2=1; 1;SI(G2=2;2;SI(G2=3;3;0))) – D étant la colonne « point » et G la colonne « Type de Faute » correspondant aux fautes directes ou provoquées. Cela nous permet d'attribuer une valeur 0 – 1 – 2 ou 3 ainsi qu'une couleur aux différents résultats du point.

- 0 (couleur de cellule rouge) pour qualifier les mises en jeu
- 1 (couleur de cellule jaune) pour qualifier les coups gagnants (colonne « Point »)
- 2 (couleur de cellule vert) pour qualifier les fautes

- 3 (couleur de cellule orange) pour qualifier les fautes

Une fois la formule appliquée à l'ensemble des cellules, nous devons attribuer à chaque nombre (0 – 1 – 2 – 3) une couleur de mise en forme conditionnelle pour pouvoir les distinguer et utiliser la formule MOYENNE_SI_COULEUR.

Une fois ces données de moyenne obtenues, il nous reste alors à calculer les moyennes des temps d'entre-point en fonction de la période (Période 1-2-3 en fonction des trois tiers du match). Pour cela, nous avons utilisé une formule SI identique à celle utiliser dans le paragraphe précédent en l'adaptant non pas aux résultats du point mais à la période du match (jaune pour Période 1 – Vert pour Période 2 – Orange pour Période 3)

Résumé

Le but de cette étude était d'investiguer la gestion temporelle de l'entre-point chez les badistes de haut niveau. Nous avons posé deux hypothèses. Notre première hypothèse était que l'entre-point faisant suite à une Faute Directe serait plus long que l'entre-point suite à une Faute Provoquée ou un Coup Gagnant. Notre seconde hypothèse était que le temps d'entre-point évoluait progressivement au cours du match. Nous avons analysé 23 matchs de simple homme évoluant à haut niveau (top 50 mondial). Nous avons calculé : (1) les durées des entre-points suite à une faute directe, à une faute provoquée et un coup gagnant et (2) la durée des entre-points au cours de la 1^{ère}, 2^{ème}, 3^{ème} période du match (chaque période correspondant à un tiers du match). Contrairement à nos attentes, la durée de l'entre-point suite à une faute directe était inférieure à celle relevée lors d'un coup gagnant et d'une faute provoquée. Par contre, la durée de l'entre-point augmentait au cours du match. Les résultats ont été discutés par rapport à l'évolution du jeu en badminton ces dernières années et par rapport à l'enjeu du match. Une analyse match par match, plus contextuelle, non réalisée dans le cadre de notre étude, permettrait une meilleure compréhension de l'impact des fautes (directes et provoquées) et du coup gagnant sur la durée de l'entre-point.